

# SERIE CONTRIBUCIONES TÉCNICAS

## RECURSOS MINERALES N° 25

Alteraciones hidrotermales asociadas a áreas mineralizadas en el NOA

### Complejo Caldérico Vilama - Coruto áreas Granada, Bonanza - Minas Viejas y Cerro Pululus

ALBA DÍAZ y ALBA RAMÍREZ



Provincia de Jujuy

**Serie Contribuciones Técnicas**  
**Recursos Minerales N° 25**

Alteraciones hidrotermales asociadas a áreas  
mineralizadas en el NOA

**COMPLEJO CALDÉRICO VILAMA - CORUTO**  
**ÁREAS GRANADA, BONANZA - MINAS**  
**VIEJAS Y CERRO PULULUS**

Provincia de Jujuy  
República Argentina

Alba Díaz y Alba Ramírez

Instituto de Geología y Minería - Universidad Nacional de Jujuy

INSTITUTO DE GEOLOGIA Y RECURSOS MINERALES  
SERVICIO GEOLOGICO MINERO ARGENTINO

Buenos Aires - 2005



## **SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO**

---

Presidente: Ing. Jorge Mayoral  
Secretario Ejecutivo: Lic. Pedro Alcántara

## **INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES**

---

Director: Lic. Roberto F. N. Page

## **DIRECCIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICOS MINEROS**

---

Director: Dr. Eduardo O. Zappettini

## **SEGEMAR**

Avenida Julio A. Roca 651 • 10° Piso • Telefax 4349-4450/3115  
(C1067ABB) Buenos Aires • República Argentina  
[www.segemar.gov.ar](http://www.segemar.gov.ar) / [info@segemar.gov.ar](mailto:info@segemar.gov.ar)

### **Referencia bibliográfica**

Díaz, A. y Ramírez, A., 2005. Alteraciones hidrotermales asociadas a áreas mineralizadas en el NOA. Complejo Caldérico Vilama - Coruto. Áreas Granada, Bonanza - Minas Viejas y Cerro Pululus, Provincia de Jujuy. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas - Recursos Minerales N° 25, 52 p.,. Buenos Aires.

**Armado y Diseño editorial:** Osvaldo D. Caccaglio

## ÍNDICE

### ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS A ÁREAS MINERALIZADAS EN EL COMPLEJO CALDERICO VILAMA - CORUTO

INTRODUCCCIÓN .....	7
---------------------	---

### CAPÍTULO I - ZONAS DE ALTERACIÓN COMPLEJO VOLCÁNICO CAUCANI-SOLTERIO, ÁREA GRANADA

1.1. Geología .....	7
1.1.1. COMPLEJO VOLCÁNICO CAUCANI-SOLTERÍO .....	7
1.2. ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN EL ABRA GRANADA .....	9
1.2.1. PETROGRAFÍA Y ASOCIACIONES MINERALES PRESENTES .....	9
1.3. BIBLIOGRAFÍA .....	11

### CAPÍTULO II - ALTERACIONES HIDROTERMALES DEL AREA BONANZA Y MINAS VIEJAS

2.1. INTRODUCCIÓN .....	13
2.2. GEOLOGÍA DEL ÁREA .....	13
2.2.1. CRETÁCICO .....	13
2.2.1.1. Grupo Salta .....	13
2.2.2. MIOCENO SUPERIOR .....	15
2.2.2.1. Ignimbrita Granada .....	15
2.2.2.2. Ignimbrita Vilama .....	15
2.2.2.3. Ignimbrita Capaderos .....	17
2.2.2.4. Ignimbrita Zapaleri .....	18
2.2.3. PLIOCENO - PLEISTOCENO .....	18
2.2.3.1. Ignimbrita Bonanza .....	18
2.2.3.2. Lavas dacíticas del Cerro Tinte .....	19
2.3. Hidrotermalismo en el área Bonanza - Minas Viejas .....	20
2.4. Asociaciones de alteración hidrotermal en Abra Bonanza-Minas viejas .....	20
2.4.1. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA (CON DICKITA, PIROFILITA Y DIÁSPORO) .....	20
2.4.2. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA - FÍLICA .....	22
2.4.3. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN FÍLICA-ARGÍLICA-SÍLÍCEA .....	22
2.4.4. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA-FÍLICA CON CALCITA ASOCIADA .....	23
2.4.5. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN PROPILÍTICA (CON CALCITA Y CLORITA) .....	23
2.4.6. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA-SILÍCEA .....	24
2.4.7. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA-FÍLICA .....	25
2.4.8. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA .....	25
2.4.9. BRECHAS HIDROTERMALES EN LA IGNIMBRITA GRANADA .....	25
2.4.10. BRECHAS HIDROTERMALES DEL SECTOR NORTE DEL ABRA BONANZA .....	25
2.4.11. ALTERACIÓN PROPILÍTICA EN LA BRECHA .....	26
2.4.12. BRECHA HIDROTERMAL SECTOR SUR DEL ABRA BONANZA .....	26
2.4.13. VETAS MINERALIZADAS EN ROCAS CRETÁCICAS, "MINA BONANZA" .....	27
2.4.14. ZONA DE MINAS VIEJAS .....	27



2.4.15. ASPECTOS GENÉTICOS DEL SISTEMA EPITERMAL .....	27
<b>2.5. Bibliografía .....</b>	<b>28</b>

### **CAPÍTULO III - ALTERACIÓN HIDROTERMAL Y MINERALIZACION ASOCIADA EN EL AREA CERRO PULULUS**

<b>3.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. GEOLOGÍA DEL ÁREA PULULUS .....</b>	<b>31</b>
3.2.1. IGNIMBRITA VILAMA .....	31
3.2.2. IGNIMBRITA SALLE .....	31
3.2.3. IGNIMBRITA BONANZA .....	33
3.2.4. IGNIMBRITA PULULUS .....	33
<b>3.3. ALTERACIÓN HIDROTERMAL .....</b>	<b>34</b>
3.3.1. ALTERACIÓN HIDROTERMAL EN LA IGNIMBRITA SALLE .....	34
3.3.2. ZONA SILICIFICADA DE BAJA TEMPERATURA .....	34
3.3.3. ZONA SILICIFICADA - ARGILITIZADA .....	35
3.3.4. VETAS Y VETILLAS CON CARBONATOS MINERALIZADOS .....	35
3.3.5. MINERALIZACIÓN METÁLICA EN LA IGNIMBRITA PULULUS .....	35
<b>3.4. CONDICIONES EN LA FORMACIÓN DE LOS SISTEMAS GEOTERMALES ....</b>	<b>36</b>
<b>3.5. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>36</b>

### **CAPÍTULO IV - CONSIDERACIONES FINALES**

<b>4.1. ÁREA ABRA GRANADA .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2. ÁREA PULULUS .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3. ÁREA BONANZA .....</b>	<b>38</b>
<b>4.4. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>40</b>

<b>ANEXO I - DIFRACCIÓN DE RAYOS X .....</b>	<b>41</b>
--	-----------

<b>ANEXO II - DETERMINACIONES POR PIMA .....</b>	<b>47</b>
--	-----------

# **ALTERACIONES HIDROTERMALES ASOCIADAS A ÁREAS MINERALIZADAS EN EL COMPLEJO CALDERICO VILAMA - CORUTO**

## **INTRODUCCIÓN**

*Alba Ramirez*

El presente informe forma parte del Proyecto: "Alteraciones hidrotermales asociadas a áreas mineralizadas en el Noroeste de Argentina" que el Instituto de Geología y Minería de la Universidad Nacional de Jujuy llevó a cabo conjuntamente con el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

La información volcada ha sido resultado del análisis, ponderación y control de la información previa existente acerca de distintos sectores seleccionados en el área del Complejo Caldérico Vilama-Coruto (CCVC) y de la complementación de la misma a través de levantamientos geológicos adicionales de detalle, tendientes a alcanzar la ajustada caracterización de diferentes sistemas geotermales, asociados a los representantes volcánicos cenozoicos más distintivos y de mayor potencialidad de la Puna norte.

## **COMPLEJO CALDÉRICO VILAMA - CORUTO**

### **OBJETIVOS**

- Definir la potencialidad minera de los gigantescos sistemas caldéricos y el control ejercido en los depósitos minerales asociados.

- Evaluar la relación existente entre eventos metalogénicos y la evolución volcánica del Complejo Caldérico (CCVC).

- Analizar y ponderar el grado de potencialidad de las estructuras de colapso, así como de aquellas asociadas a etapas de resurgencia o a episodios ulteriores de reactivación tectónica, como portadoras de depósitos minerales.

- Caracterizar los sistemas geotermales y fumarólicos responsables de mineralizaciones, sus parámetros físico-químicos y fases minerales en equilibrio.

- Definir modelos genéticos para el tipo de depósitos minerales asociados al CCVC, que puedan servir de guía a futuras exploraciones en la región.

## **ANTECEDENTES**

La importancia económica de las calderas como sitios de frecuente instauración de sistemas geotermales, usualmente portadores de mineralización, plantea la necesidad de mejorar el nivel de comprensión de sus mecanismos de evolución, a fin de guiar la búsqueda de recursos minerales y energéticos en ellas.

La Puna-Altiplano, región en la que se ha desarrollado durante el Terciario una de las provincias ignimbríticas más extensas de la Tierra (entre 16-26°S, 50 a 400 km detrás del arco magmático actual), caracterizada por calderas de singulares dimensiones, constituye un excelente marco para el desarrollo de nuevas investigaciones que permitan avanzar en el conocimiento de los sistemas caldéricos su potencialidad minera y energética.

Durante el Mioceno superior (10-6 Ma.), como parte de dicha Provincia, en la Puna N aconteció un importante volcanismo al que se asociaron gigantescos centros caldéricos.

Dichos centros caldéricos se implantaron detrás del arco frontal y a lo largo de cadenas transversales de rumbo NO-SE, como la de Lípez-Coranzulí. Corresponden a calderas de frecuente estructura anidada, con diámetros de hasta 60 km y volúmenes emitidos que superan los 600 km<sup>3</sup>. Se reconocen dentro de ellas las megacalderas Panizos y Coranzulí, desarrolladas a los 7-6 Ma., Vilama-Coruto que inician su actividad a los 10.7 Ma. y Pairique que lo hace a los 11.2 Ma, en su mayoría ubicadas al este del llamado Complejo volcánico Altiplano-Puna (APVC) reconocido por



De Silva y Francis (1989). Los complejos caldéricos ignimbríticos migraron hacia el borde occidental de la Puna y a la Cordillera Oriental (Caldera La Pacana, 4.1 Ma.) durante el Plioceno, acompañando el incremento en el ángulo de subducción (Coira et al., 1993).

Estudios de estratigrafía volcánica y petrológicos como los realizados en las megacalderas Coranzulí (Seggiaro et al., 1987; Seggiaro, 1994), Cerro Panizos (Coira y Mazzoni, 1986; Ort, 1993; Ort et al., 1996) y Vilama-Coruto (Coira et al., 1996a y b), Pairique (Coira, 1990; Seggiaro et al., 1995), La Pacana (Gardeweg y Ramírez, 1987; Lindsay et al., 1996) brindan elementos para el análisis de su evolución magmática y características geoquímicas, así como cubren parcialmente aspectos volcano-tectónicos de los mismos.

El Complejo Caldérico Vilama-Coruto (Coira et al., 1996a y b), sistema caldérico de excepcionales dimensiones 60 x 40 km de diámetro desarrollado durante el lapso 8.9-2 Ma en un sector de los Andes Centrales ~Puna N 22°20'-25°S y 66°30'-67°O ha sido exhaustivamente estudiado con el fin de alcanzar una mayor comprensión de la evolución e interacción de episodios magmáticos esencialmente silíceos y sistemas hidrotermales mineralizantes.

En el CCVC se diferenciaron tres ciclos evolutivos, los que tuvieron lugar entre 8.9-2 Ma, postulándose para los mismos distintos mecanismos eruptivos, así como tipos de subsidencia asociados. El primer evento se correlacionó con la emisión de la Ignimbrita Granada (8.9 Ma.) la que es relacionada al desarrollo de una caldera propuesta como de tipo *trap-door*.

El segundo ciclo comenzó con la emisión de la ignimbrita Vilama (8.5 Ma.) asociada con el desarrollo de una caldera interpretada como de tipo down-sag. Erupciones menores como la Ignimbrita Salle (8.4 Ma.) y Ceja Grande (8.3 Ma.) tuvieron lugar a continuación a través de bocas localizadas a lo largo de estructuras previas y fueron acompañados por un reducido volcanismo lávico dacítico (Cerro Bayo 7.6 Ma.). Posteriormente la actividad volcánica principal migró hacia el oeste teniendo lugar domamiento resurgente de la Ignimbrita Vilama, el que fue acompañado por emisiones lávicas andesíticas

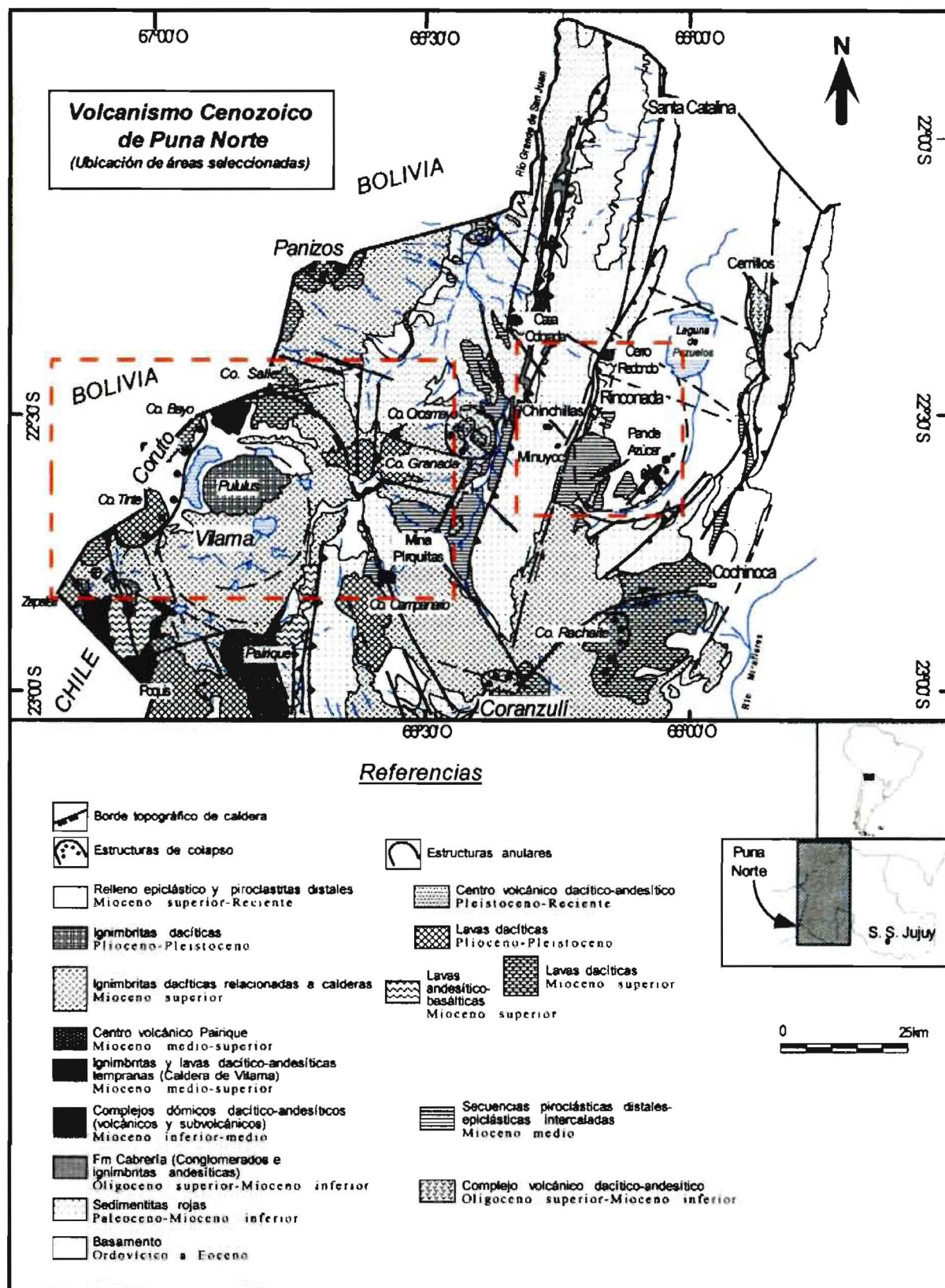
(6.7 Ma.) a dacíticas (5.05 Ma.), las que aprovecharon sistemas de fracturación anular. La siguientes etapa estuvo representada por la erupción de la Ignimbrita Bonanza y formación de la caldera Coruto, interpretada como de colapso (40x20 km), anidada en la caldera mayor Vilama.

Estudios petrológicos y geoquímicos de las distintas unidades ignimbríticas y lávicas del CCVC, han permitido encuadrarlas dentro del campo de las secuencias calcoalcalinas de retroarco. Son rocas peraluminosas a marginalmente metaluminosas ( $A/CNK=0.9-1.1$ ), las que constituyen un grupo diferenciable de los centros ignimbríticos de la Puna por las características de sus elementos traza (pronunciada pendiente de sus tierras raras:  $La/Yb=24-37$  para similares diseños de tierras raras livianas) y altas relaciones isotópicas  $Sr^{87}/Sr^{86}$ . Los diseños empinados de sus tierras raras, que estarían indicando retención de la tierras raras pesadas por granate residual en la fuente, señalan en una primera aproximación, fuentes corticales espesas o fusión profunda para el origen de sus magmas. El comportamiento observado de sus elementos traza, junto al de los isótopos radiogénicos indican una evolución compleja para este sistema magmático, en el que tuvieron lugar procesos de asimilación y fraccionamiento cristalino con mezcla de magmas mantélicos y corticales.

Por otra parte los estudios realizados en el CCVC (Coira, 1998; Ramírez et al., 1998, Rodríguez y Coira, 1998) han permitido reconocer depósitos epitermales de metales básicos y preciosos, manifestaciones fumarólicas de Sn-Fe y S, así como depósitos evaporíticos y depósitos residuales auríferos y estanníferos, los que ponen en evidencia la potencialidad minera del Complejo y plantean la posibilidad de centrar en él futuras investigaciones que permitan alcanzar una mayor comprensión de las relaciones existentes entre dicho Complejo caldérico y los paleosistemas geotermales mineralizantes asociados.

## METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

Para lograr los objetivos propuestos las investigaciones se centraron en el Area Bonanza, Granada y Laguna Pululus. En dichos sectores



Mapa 1: Ubicación de áreas seleccionadas



se llevó a cabo:

- Revisión, compilación y actualización de la información geológica, petrográfica, geocronológica, geoquímica, geofísica, estructural y minera de los centros a estudiar.

- Muestreos de las áreas seleccionadas, ubicada en el Mapa 1.

- Análisis de los levantamientos geológicos existentes del Complejo, fotointerpretación del área sobre fotografías a escala 1:50.000-1:25.000 e interpretación de satelitarias. Elaboración de un mapa base para el total del Complejo a escala 1:100.000 y mapas parciales a escalas 1:50.000.

- Levantamientos geológico-mineros de detalles de las áreas mineralizadas a fin de su caracterización desde el punto de vista mineralógico, geoquímico, estructural, como de sus facies de alteración hidrotermal y condiciones de equilibrio de sus fluidos.

- Cortes delgados para la descripción petrográfica tanto de las rocas frescas como de las áreas alteradas.

- Prospección geoquímica de elementos metalíferos (Pb, Zn, Ag, Sb, As, Bi, Sn, Cu, Au, Mo) en áreas hidrotermalizadas, complementando los estudios de alteración hidrotermal.

- Estudios petrográficos de las secuencias magmáticas a fin de su caracterización composicional y textural, determinación de sus variaciones faciales.

- Para la fracción comprendida entre (2-20 $\mu$ ) fracción arcillosa se usó además rayos X y PIMA. En el Laboratorio de Sedimentología del IDGYM se prepararon las muestra para dRX, las tareas consistieron en la molienda de la roca alterada hasta ser retenida por la malla 200. Para difractar sobre muestra total se trabajó con el polvo de las muestras los que fueron difractados con valores de  $2\phi$  comprendidos entre 3° y 60°. También se prepararon muestras orientadas de la fracción arcilla, las que fueron pipeteadas y colocadas sobre un portaobjeto; y posteriormente difractadas con valores de  $2\phi$  entre 3° y 30°. Finalmente se calcinaron a 500° C a fin de comprobar la presencia de caolinita, a esta temperatura se destruye la estructura cristalina de esta arcilla. Los estudios realizados con equipo PIMA fueron realizados por la Secretaria de Minería de la Nación

- Análisis geoquímicos (elementos mayores y trazas; FRX-Laboratorio de del Instituto de Geología y Minería-UNJÜ), así como isotópicos de Sr Pb, Nd de las rocas magmáticas (Secretaría de Minería de la Nación). Tratamiento e interpretación de los datos los que serán complementados con la información producida por nuestro grupo de trabajo en investigaciones previas.

- Estudios mineralógicos de menas y petrografía de alteración a fin de determinar paragénesis de las menas y condiciones de equilibrio de los sistemas hidrotermales asociados (estudios de inclusiones fluidas). Ellos brindarán fuertes bases de información para el modelado de los tipos de depósitos minerales asociados a los sistemas megacaldéricos.

## BIBLIOGRAFÍA

- DE SILVA S.L. AND P.W. FRANCIS, 1989. Correlation of large volume ignimbrites-two case studies from the Central Andes of N Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 37; 2 pages 133 - 149.
- COIRA, B.; MALHBURG KAY, S y J., VIRAMONTE, 1993. Upper Cenozoic Magmatism of The Argentina Puna. *International Geology Review* 35 N° 8: 677-720.
- COIRA, B. Y M., MAZZONI, 1986. Depósitos de flujos piroclásticos del Cerro Panizos, Jujuy, Argentina. *Primera Reunión Argentina de Sedimentología*: 89-92.
- COIRA, B., 1990. Ignimbritas y lavas dacíticas del Cenozoico Superior de la Puna jujeña y sus contenidos anómalos en Sn, Sb, Ag y Au. *Actas XI Congreso Geológico Argentino* 1:299-302.
- COIRA, B.; CAFFE, P.; MAHLBURG KAY, S.; DÍAZ, A. y A., RAMÍREZ, 1996 a). Complejo Volcánico Vilama-Sistema caldérico del Cenozoico superior en Puna, Jujuy. *Actas del XIII Congreso Geológico Argentino-III Congreso de Exploración de Hidrocarburos III*: 603-620.
- COIRA, B.; CAFFE, P.; DÍAZ, A. y A., RAMÍREZ, 1996 b). Sistema de Calderas anidadas del Cenozoico Superior: Vilama-Coruto, Puna (Argentina)-Altiplano (Bolivia). *Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia III*: 991-1002.
- COIRA, B., 1998. Volcanismo silíceo megacaldérico y depósitos minerales asociados del Terciario superior en Puna Norte (22°-24°s), Argentina. *Memorias del XIII Congreso Geológico de Bolivia, II*: 373-380. Potosí, Bolivia.

- GARDEWEG M. AND C.F. RAMÍREZ, 1987. La Pacana caldera and the Atana Ignimbrite-A major ash-flow and resurgent caldera complex in the Andes of northern Chile. *Bulletin of Volcanology*, 49: 547-566
- ORT M.H., 1993. Eruptive processes and caldera formation in a nested downsag-collapse caldera: Cerro Panizos, Central Andes Mountains. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 56: 221-252.
- ORT, M.; COIRA, B. y M., MAZZONI, 1996. Generation of a crust- mantle magma mixture: magma sources and contamination at Cerro Panizos, Central Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 123: 308-322.
- RAMÍREZ, A.; COIRA, B. y A., DIAZ, 1998. Manifestaciones minerales del Complejo lávico-dómico Caucani-Solterío, Puna septentrional. *Memorias XIII Congreso Geológico de Bolivia*, II: 499-503. Potosí, Bolivia.
- RODRÍGUEZ, G.A. y B., COIRA, 1998. Molibdeno asociado a un sistema epitermal en Cerro Colorado-Orosmayo (Puna Jujehña). *Actas X Congreso Latinoamericano de Geología-VI Congreso Nacional de Geología Económica*, III: 214-219. Bs.As.
- SEGGIARO R., GORUSTOVICH S.A. y J. MARTÍ, 1987. Las ignimbritas del complejo volcánico Coranzulí (Puna Argentina-Andes Centrales). *Estudios Geológicos*, 43: 345-358.
- SEGGIARO R., 1994. Petrología, Geoquímica y Mecanismos de Erupción del Complejo Volcánico Coranzulí. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta: 137 p. (Inédito).
- SEGGIARO R., BECCHIO R., COIRA B. y R. HOGN, 1995. La caldera del Pairique (Puna Jujehña), vinculación con zonas de alteración hidrotermal y manifestaciones metalíferas de posible interés económico. *Actas V Congreso Nacional de Geología Económica*, 1: 274-280.





# Capítulo I

## ZONAS DE ALTERACIÓN COMPLEJO VOLCÁNICO CAUCANI-SOLTERIO, ÁREA GRANADA

### 1.1. GEOLOGÍA

#### 1.1.1. COMPLEJO VOLCÁNICO CAUCANI-SOLTERIO

El basamento del Complejo está constituido por las pelitas de la Formación Acoite (Arenigiano, Llanvirniano), fuertemente deformadas, con estructura monoclinal hacia el NNO.

El registro volcánico se inicia con flujos piroclásticos que cubren a secuencias conglomeráticas rojizas asignadas a la Fm. Tiomayo (Mioceno medio), las que discordantemente median entre dichos flujos y las secuencias ordovícicas. Esta unidad, denominada Ignimbrita Granada ( $8.9 \pm 0.2$  Ma. Aquater, 1979) de coloración gris, se caracteriza petrográficamente por cristoloclastos (25%) de plagioclasas cálcicas, cuarzo, biotita e hipersteno y fragmentos líticos (49%) de areniscas ordovícicas y de dacitas. Las pumicitas (20%) se encuentran alteradas y en los niveles soldados muestran una relación alto/ancho de 1:3. Aflora en el sector NO, por debajo de los cerros Colorado, Caucani y Granada.

En el sector oeste aflora una secuencia ignimbítica que sobreyace a la Ignimbrita Granada correlacionable con la Ignimbrita Vilama datada en  $8.49 \pm 0.2$  Ma (Aquater, 1979) y proveniente de la Caldera Vilama. Esta unidad de tonalidad rosada tiene mayor contenido de cristoloclastos (40-60%) y moderado de pumicitas (5-15%) e inferior contenido de fragmentos líticos < 5%.

Ambos registros volcánicos han estado vinculados a la primera y la segunda fase explosiva responsables de la construcción del sistema caldérico Vilama-Coruto.

Infrayaciendo a la Ignimbrita Vilama se encuentran las Lavas Viejas del Abra Granada (Ramírez et al 2001), representantes de un volcanismo anterior a la emisión de la Ignimbrita Vilama. El afloramiento de esta unidad constituye un frente tectónico adonde se puede ver claramente la relación establecida entre la Ignimbrita Granada, la

Ignimbrita Vilama y la Lava Vieja que se encuentra infrayaciendo a esta última, permitiendo ajustar más la posición en el tiempo de esta unidad. En este sector se reconocen zonas de brechamiento y microfracturación con diseminación fina de sulfuros, en el mismo Coira (1990) determina anomalías de Ag (3-14 ppm) y Au 6-8 ppb; Pb 1.200-60 ppm; Zn 60-80 ppm.

Se trata de una unidad lávica antigua que marca el inicio de la actividad volcánica responsable de la construcción del complejo volcánico Caucani-Solterio, constituye un afloramiento restringido y localizado en el sector este del Abra Granada. Se presenta, a simple vista notablemente alterada

Controlado por fracturación NNO y NO-SE se produce la emisión lávica del cerro Solterio la expresión más ácida del sistema. Este vitrófiro está compuesto esencialmente por fenocristales (1-3%) de andesina, sanidina y lamprobolita en una pasta vítrea fluidal parcialmente desvitrificada a agregados de ópalo, cristobalita, tridimita y en menor proporción calcedonia.

El complejo volcánico Caucani-Solterio se implantó marginando dicho sistema de caldera, controlado por fracturación subparalela al mismo (Ramírez, 1997).

Continúa su actividad con erupciones lávicas, representadas por las denominadas lavas iniciales del cerro Colorado. Estas son rocas porfíricas constituidas por fenocristales de plagioclasa y biotita y en menor proporción sanidina, la pasta está formada por microlitos de plagioclasa y vidrio. Hay cloritización de la mica, reemplazo carbonático, desnaturalización del vidrio en agregados cristalinos.

Emisiones lávicas dacíticas y andesíticas conforman a los  $5.05 \pm 0.16$  Ma. (Aquater, 1979) la plataforma lávica del cerro Granada que sobreyace a la Ignimbrita del mismo nombre, a las que sucede la construcción del cono andesítico del volcán.

A continuación tuvo lugar un nuevo episodio

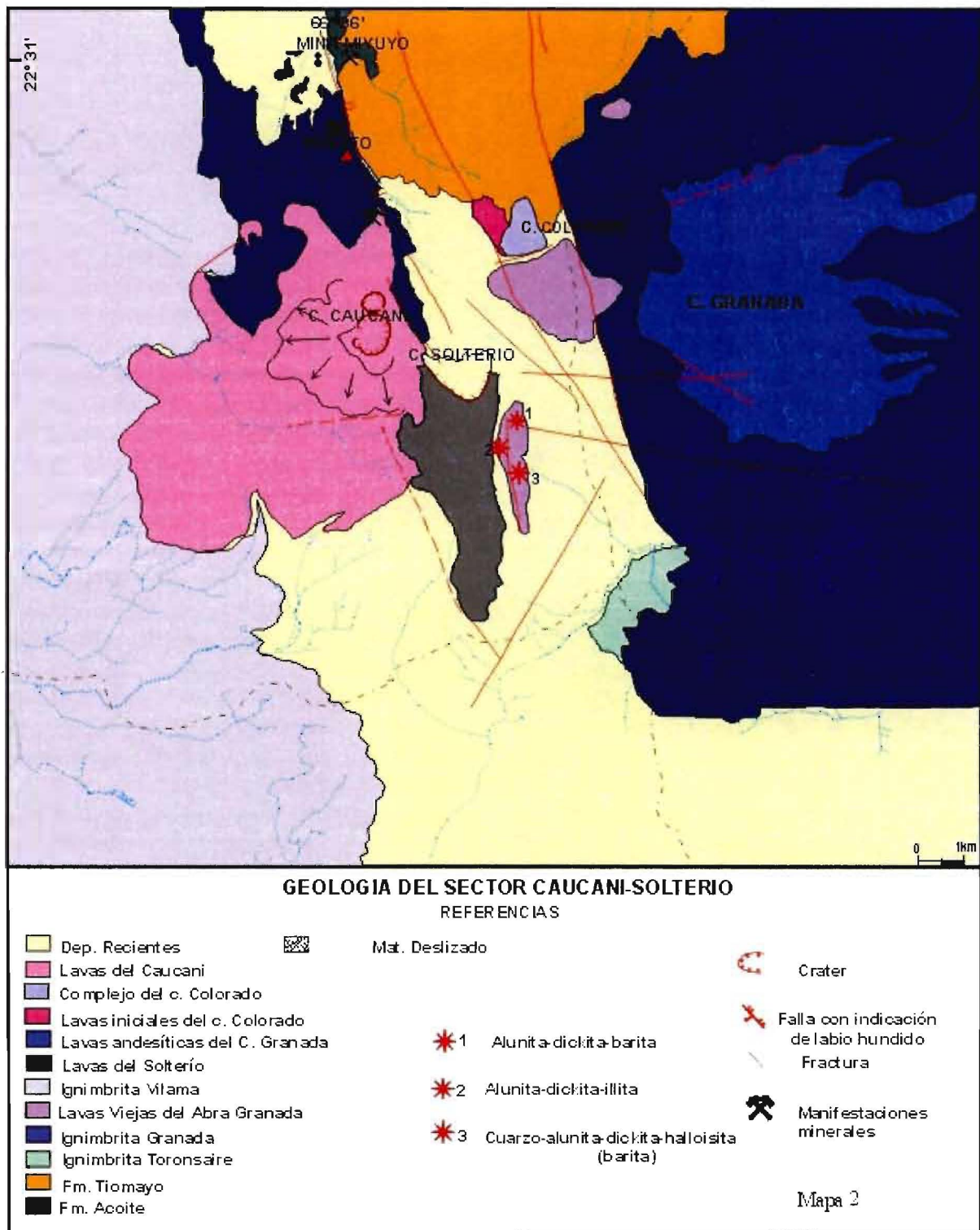


Figura 1.1.: Mapa de ubicación

lávico (lavas de plataforma del cerro Caucañi) pero ya centrado en el sector occidental. Es posible distinguir nueve niveles lávicos, se trata de rocas dacíticas de pasta pilotáxica con fenocristales de plagioclasa, cuarzo, ortoclasa, lamprobolita, ortopiroxeno, clinopiroxeno algo

zonal y escasa sanidina. Estas lavas dómicas construyen el cerro Caucañi.

La actividad culmina con la implantación de un sistema de domos con registros de colapsos de los mismos en sus fases iniciales. Ellos son dacíticos de pasta vítrea a hialopilitica con fenocristales





**Fotografía 1.1:** Cerro Solterio. Se puede observar el área de alteración que infrayace al Cerro Solterio.

de sanidina, plagioclasa ( $An_{32-34}$ ), cuarzo y biotita. En la zona dómica se ha reconocido una región con intensa alteración argílica y jarocítica y en algunos casos limonítica (Figura 1.1.).

Las características geoquímicas del Complejo permite encuadrarlo dentro de las asociaciones calco-alcalinas de retroarco con un claro predominio del campo dacítico.

Sus elementos traza hacen posible diferenciar a sus representantes claramente de aquellos integrantes de centros ignimbríticos vecinos como Panizos y Coranzulí, mostrando diseños de LREE y relaciones  $Ba/La < 18 > 10$  similares a las observadas para el resto de las unidades del complejo Caldérico Vilama-Coruto (Ramírez 1997).

## 1.2. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL ABRA GRANADA

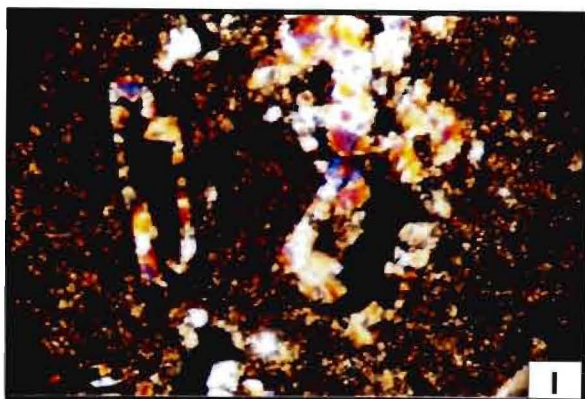
Se circunscribe exclusivamente a la altera-

ción que afecta principalmente a las Lavas Viejas del Abra Granada sector que abarca aproximadamente 10 km<sup>2</sup>.

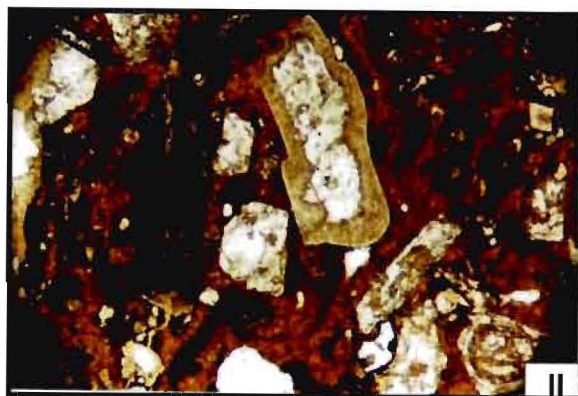
### 1.2.1. PETROGRAFÍA Y ASOCIACIONES MINERALES PRESENTES

La Lava Vieja del Abra Granada presenta textura brechosa está compuesta por clastos de roca de naturaleza lávica de granulometría variable (0.800 a 5 cm) inmersos en una matriz que está compuesta por cristales de cuarzo, plagioclasa alterada, biotita alterada y una pasta modificada.

Los componentes clásticos de la brecha son de naturaleza lávica composicionalmente corresponden a dacitas y andesitas, llegan a constituir el 60 % del total. Se caracterizan por presentar formas más o menos subredondeadas efectos de reabsorción y muestran en grado moderado a intenso los efectos de la alteración sobreimpuesta.



**Microfotografía 1.1.:** Fenocristales de plagioclasa totalmente lixiviados y reemplazados por agregados de alunita y cuarzo. La alunita se asocia con caolinita y ópalo y pervasivamente invade la pasta (80 X - Nícoles cruzados).



**Microfotografía 1.2.:** La pasta de la lava está totalmente opalizada y los fenocristales de plagioclasas alterados están reemplazados por un núcleo de alunita con un borde argilitizado. También se observan biotitas desferrizadas (80 X - Nícoles cruzados).



Los clastos de la andesita tienen como fenocristales esenciales: plagioclasa la que se encuentra parcial o totalmente argilitizada y en algunos casos ha sido totalmente reemplazada por alunita. Le siguen en abundancia láminas de biotitas que fueron totalmente reemplazadas por agregados pulverulentos de opacos y limonitas. El anfíbol es otro de los componentes, en la andesita, preserva el hábito romboédrico del mineral primario, ya que se alteró totalmente para formar pseudomorfos de agregados ferruginosos.

Los clastos de dacita están compuesto por fenocristales de cuarzo modificados por efectos de la reabsorción. Los fenocristales de plagioclasa se encuentran totalmente alterados, preservan su hábito tabular y prismático. La matriz de esta roca, se encuentra intensamente opalizada.

La matriz de la brecha es también de natura-

leza lávica y composición dacítica, muestra alteración en grado moderado a intenso.

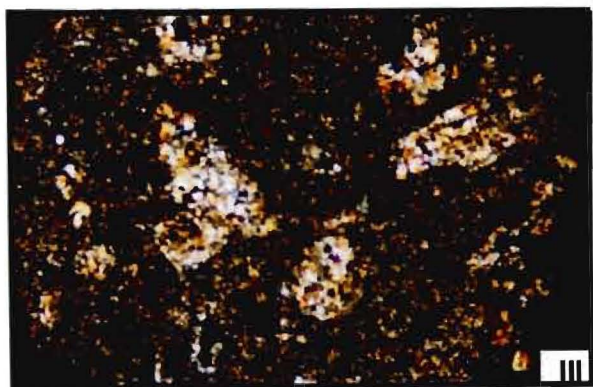
La alteración modifica totalmente a los cristaloclastos de plagioclasa, biotita, como así también a la mesostasis de la matriz lávica.

Los cristaloclastos de plagioclasa y biotita totalmente sustituidos por los minerales de alteración, se caracterizan por preservar su hábito tabular y laminar.

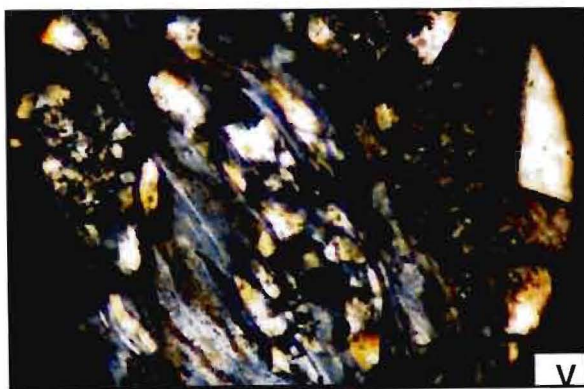
El cuarzo se presenta a modo de agregados microgranoso bien fino que gradúan a tamaños medio para cristalizar en asociación con alunita y reemplazar totalmente a los cristales de plagioclasa y biotita formando pseudomorfos de ellos.

Cuarzo a modo de agregados microgranosos bien finos asociados con pequeños cristales de alunita, reemplaza intensamente a la pasta.

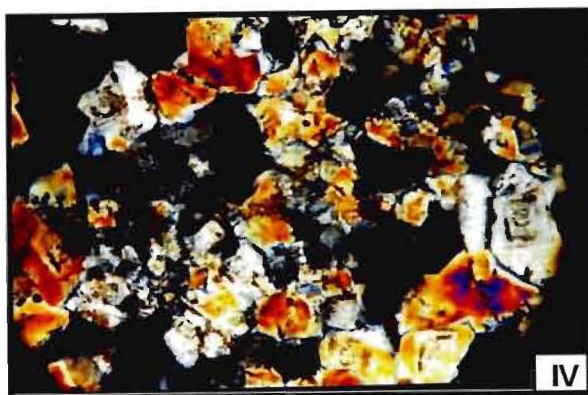
La alunita es el componente de alteración dominante en la roca. Forma agregados granosos



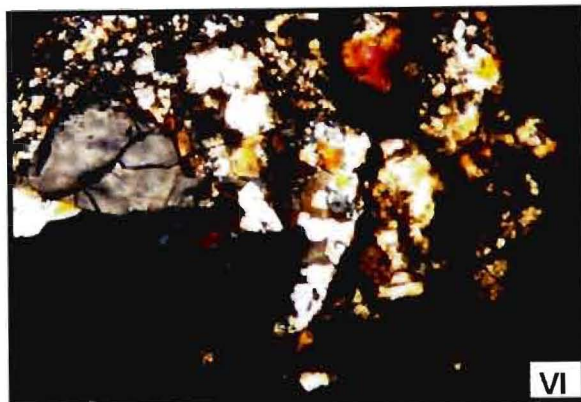
**Microfotografía 1.3.:** La asociación de alunita-cuarzo-dickita de grano fino es pervasiva en la pasta y reemplaza totalmente a los fenocristales de plagioclasas. La textura de la roca original ha sido intensamente modificada (80 X – Nícoles cruzados).



**Microfotografía 1.5.:** Formación de tridimita de hábito tabular y macla en cuña, reemplazada parcialmente por agregados de alunita y cuarzo (80 X – Nícoles cruzados).



**Microfotografía 1.4.:** El cuarzo aparece asociado con alunita y dickita, éste último se presenta intercrecido reemplazando a la pasta de la roca (200 X – Nícoles cruzados).



**Microfotografía 1.6.:** Se observa un cristal de topacio y la pasta de la lava reemplazada por agregados de cuarzo y alunita (200 X – Nícoles cruzados).



bien finos que gradualmente aumentan en tamaño. En algunos sectores los agregados son bien gruesos, y se ha desarrollado junto con cuarzo y caolinita. Es frecuente que los cristales de mayor desarrollo, presenten hábito rombohédrico o pseudocúbico. Estos componentes sustituyen totalmente a las tablillas de plagioclasa y láminas y laminillas de biotita.

El mineral de arcilla dominante asociado con la alunita, ha sido determinado mediante análisis por Rayos X, como dickita.

Dickita se caracteriza por formar cristales de hábito tabular de aspecto plumoso y bordes desflecados, también presenta anomalías en el modo de extinción, para sustituir totalmente a los cristales de plagioclasa y biotita, formando pseudomorfos, y también a la pasta. Es frecuente la formación de dickita con alunita alternadamente.

Los cristales de alunita asociada con cuarzo, en ocasiones se disponen siguiendo un hábito venoso que corta a los minerales formados en un primer episodio de alteración. Esta disposición nos estaría indicando que en el sistema habría acontecido más de un pulso en la circulación de fluidos sulfatados.

Barita es un componente que se presenta frecuentemente asociado con la alunita. Se caracteriza por formar agregados de cristales de hábito tabular dispuestos en diferentes sentido a modo de trabazones. Muestra baja birefringencia y se distribuye en la pasta.

En áreas próximas al centro volcánico Caucania-Solterio, la alteración argílica se hace más intensa, estando representada por illita, donde los rasgos texturales y composicionales de la lava vieja han sido totalmente modificados.

La jarosita (sulfato básico de hierro) bajo la forma de agregados de pequeños cristales y masas terrosas, o bien a modo de un diseminado reemplaza a la pasta. Es frecuente también que se presente según microfracturas generalmente asociada con alunita.

Las principales fases de alteración están representadas por minerales que caracterizan a los depósitos de tipo sulfato ácido ((White 1991).

Las asociaciones de minerales de alteración están representada por cuarzo-alunita-dickita-barita, alunita-dickita-iliita y cuarzo-alunita-dickita-halloisita-barita (ver microfotografías).

*La alteración sulfato-ácido se asocia con sulfuros. Se distribuyen en la pasta a modo de un diseminado y en forma de microvenilla.*

La alteración sobreimpuesta en la brecha lávica vieja representada por una zona argílica con alunita dominante asociada con cuarzo, nos estaría indicando que la actividad hidrotermal que genera este tipo de asociaciones se distingue por una profunda circulación de fluidos con alto estado de oxidación ocasionando el implante de un sistema epitermal de tipo de Alta Sulfuración o Sulfato Acido (White 1991) dado por la asociación de alunita-cuarzo-dickita, generados en un ambiente hidrotermal-magmático en etapas póstumas al implante del sistema volcánico Caucani-Solterio.

Los sistemas de alta sulfuración en el sentido de Heald et. al. (1987), se forman frecuentemente a lo largo de fracturas anulares en zonas próximas a bordes de calderas, adonde habría ocurrido una gran actividad volcánica con la emisión de sucesiva coladas y lavas dómicas, como lo acontecido en el borde del sistema caldérico Vilama-Coruto (Coira et. al. 1996) que dio lugar a la formación del Complejo volcánico Caucani-Solterio, controlado por fracturas anulares paralelas a la caldera, facilitando el ascenso de estos fluidos hidrotermales.

### 1.3. BIBLIOGRAFÍA

- AQUATER, 1979. Estudio del potencial geotérmico de la Provincia de Jujuy, República Argentina. Secretaría de Estado de Minería. Inédito: 175-187.
- COIRA, B., CAFFE, P.J., KAY, S.M., DIAZ, A. y RAMIREZ, A., 1996. Complejo volcánico Vilama - Sistema caldérico del Cenozoico superior en Puna, Jujuy. XIII Congreso Argentino de Geología, Actas III: 603-620. Buenos Aires.
- COIRA B., CAFFE P.J., RAMIREZ A., CHAYLE W., DIAZ A., ROSAS S., PEREZ A., PEREZ E.M.B., OROSCO O. y MARTINEZ M., 1998. Hoja Geológica 2366-I Mina Pirquitas (escala 1:250.000). Dirección Nacional del Servicio Geológico. Secretaría de Minería de la Nación. En prensa.
- HEALD, P., D.O., HAYBA & N.K. FOLEY, 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid sulfate and adularia sericite types. *Economic Geology* 82:1-26.
- HEDENQUIST, J.W., 1987. "Mineralization Associated with Volcanic-related Hydrothermal Systems in the circum-Pacific Basin", in *Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral*



- Resources Conference, Singapore. Horn, M.K., Ed., American Association Pet. Geology: 513-524.
- HEMLEY, J.J., HOSTETLER, P.B., GUDE, A.J., and MOUNTJOY, W.T., 1969. Some stability relations of alunite: *Economic Geology* v. 64, p. 599-612.
- RAMIREZ, A., 1997. Magmatismo y asociaciones minerales en los cerros Caucani-Solterío, departamento Rinconada provincia de Jujuy. Tesis Profesional (inédito) 100 pags. UNSa.
- RAMIREZ, A., DÍAZ, A. y SOLIS, N., 2001. "Sistemas de Alta Sulfuración en el cerro Solterío, Departamento Rinconada. Provincia de Jujuy". En prensa.
- REYES, A.G., 1990. Petrology of Phillipine geothermal system and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 43: 279-309.
- WHITE, N.C., 1991. "High Sulfidation Epithermal Gold Deposits: Characteristics and a Model for their Origin". *Geological Survey of Japan Report* 277: 9-20.
- WHITE, N.C. y HEDENQUIST, J.W., 1995. Epithermal Gold Deposits: Styles, characteristics and exploration. *Society of Economic Geologists, Newsletters* N° 23: 1-13.

## Capítulo II

# ALTERACIONES HIDROTERMALES DEL AREA BONANZA Y MINAS VIEJAS

### 2.1. INTRODUCCION

Morfológicamente el área de Bonanza-Minas Viejas, constituye un paisaje ondulado formando una depresión elongada en la dirección N-S a NNE-SSW, que se extiende desde el flanco sur del cerro Tinte, sector sur de la laguna de Vilama, hasta las proximidades de la localidad de Capadero, por el lado sur.

La región se localiza en un sector de la Puna donde han acontecido imponentes eventos tectónicos y magmáticos durante el lapso Mioceno superior-Plioceno, dando lugar a la formación de voluminosos depósitos de ignimbritas y de flujos lávicos, los que estuvieron relacionados con el desarrollo de estructuras de megacalderas anidadas, como el Complejo Caldérico Vilama-Coruto (CCVC) (Coira *et al.* 1996).

La región del área Bonanza localizada en el borde sudeste de la caldera Coruto y hacia el interior de Vilama, registra parte de los depósitos piroclásticos, como los correspondientes a la Ignimbrita Granada que se corresponde con el primer ciclo evolutivo del sistema Caldérico Vilama (Coira *et al.* 1996). Así también, la Ignimbrita Vilama perteneciente al segundo ciclo, tiene gran distribución. Depósitos de extensión mas localizados, representados por la Ignimbrita Bonanza conforma también el contexto geológico del sector, al mismo tiempo la Ignimbrita Capaderos se distribuye en el ángulo sudoeste.

La zona se encuentra fuertemente afectada por la deformación tectónica a escala regional. Ella es surcada por un importante lineamiento regional semicircular con rumbo submeridional, el que se asocia con la estructuración de colapso del borde de la caldera Coruto. El mismo margina por el este la depresión del Abra Bonanza y controla la continuidad de los depósitos de la Ignimbrita Granada y Vilama que se distribuyen en la depresión de Vilama.

La región del abra Bonanza, constituye un sector de importancia, por haberse implantado en ella, un sistema geotermal responsable de la formación de depósitos vetiformes de Pb, Zn, Ag, Mn, y Au, siendo las rocas hospedante, las sedimentitas de Subgrupo Balbuena del Cretácico.

### 2.2. GEOLOGÍA DEL AREA

#### 2.2.1. CRETACICO

##### 2.2.1.1. Grupo Salta

Las rocas más antiguas que afloran en esta región, están representadas por las sedimentitas asignadas al Subgrupo Balbuena (Moreno, 1970), constituyendo en este sector del Complejo Caldérico Vilama-Coruto, la única expresión superficial.

Estas rocas se exponen a lo largo de la depresión del Abra Bonanza (Fotografía 2.1.) extendiéndose desde el borde de la caldera por el este, hasta la ladera este del cerro Tinte por el oeste, donde son cubiertas por las lavas del cerro homónimo. Ellas, se encuentran representadas por conglomerados rojizos, en parte brechosos, que se intercalan con niveles de areniscas finas rojizas, o líticas arcósicas blanco-amarillentas con cemento calcáreo, a las que se asocian niveles de calizas finas.

Por arriba sobreyacen en discordancia una sucesión de limonitas, lutitas y areniscas finas pardo-rojizos rojas y verdes con estratificación entrecruzada y planar, las que suelen presentar ondulitas e intercalaciones de yeso. Las mismas serían asignables al Subgrupo Santa Bárbara (Vilela, 1952).

Los estratos de esta formación, se encuentran fuertemente deformados. En los afloramientos de Minas Viejas presentan rumbo en la dirección NNE-SSW e inclinación hacia el NW con

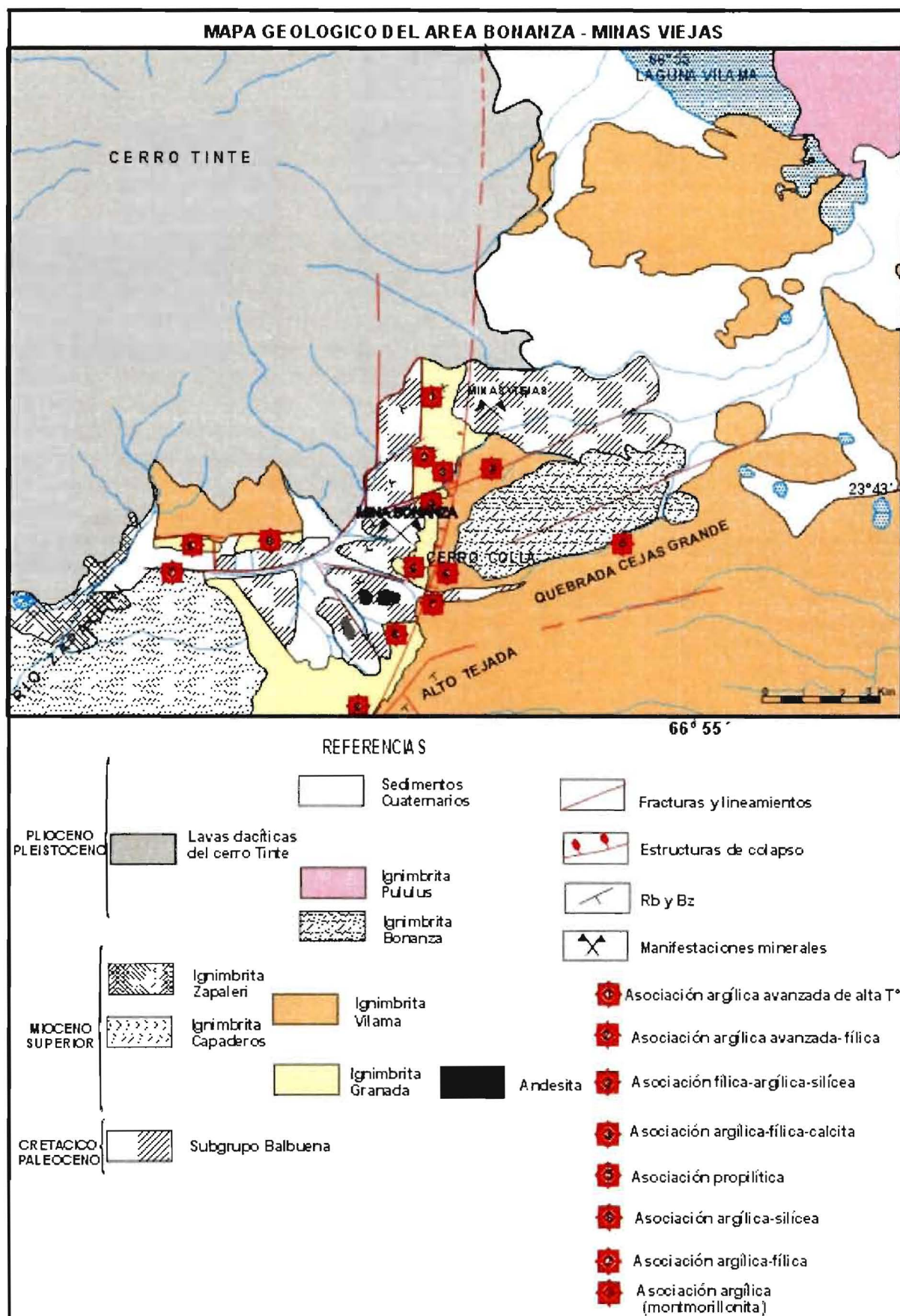


Figura 2.1.: Mapa geológico del área Bonanza - Minas Viejas



un ángulo aproximado de 35°; en los afloramientos que se encuentran al norte de mina Bonanza, los estratos presentan rumbo NNW-SSE, con inclinación en la dirección SE. En mina Bonanza el rumbo de los estratos NE-SW e inclinan hacia NW.

Estas sedimentitas muestran clara relación estratigráfica con la Ignimbrita Granada, la que se apoya con marcada discordancia angular.

## 2.2.2. MIOCENO SUPERIOR

### 2.2.2.1. Ignimbrita Granada

Esta unidad aflora a lo largo del Abra Bonanza, la que descansa con marcada discordancia sobre rocas del Cretácico y es cubierta por la Ignimbrita Vilama (Fotografía 2.1.) y la Ignimbrita Capaderos.

Esta unidad constituye una sucesión de flujos piroclásticos-dacíticos de tonos grisáceos-blancuecinos, los que marcan el inicio del volcanismo explosivo del primer ciclo evolutivo del Complejo Caldérico Vilama-Coruto (Coira *et al.* 1996). En el abra se presenta integrando un afloramiento continuo a lo largo de la depresión, afectada por una acentuada deformación al encontrarse desmembrada dislocada y volcada, inclinando hacia el NNE aproximadamente en 35°. Los bancos suelen presentar espesores de 2 a 8 m y aquellos depósitos que no se encuentran modificados por la alteración hidrotermal, se caracterizan por presentar aspecto masivo, buen soldamiento, moderado contenido en cristales (25-30%) y pobres en líticos (1-7%).

Sus componentes están representados por cristaloclastos de plagioclasa con la composición de  $An_{43-48}$ , cuarzo altamente fragmentado, escasa sanidina y biotita.

La matriz vitroclástica se encuentra totalmente desvitrificada constituyendo agregados axiolíticos y fibrosos.

Coira *et al.* (1996) correlaciona a esta unidad, con depósitos asignados a la Ignimbrita Granada, reconocida en el sector nordeste marginando la depresión de Vilama. Se han identificado también extensos afloramiento en el área de los cerros Caucania-Granadas.

Ella se encuentra representada por una sucesión de flujos piroclásticos de color gris-blan-

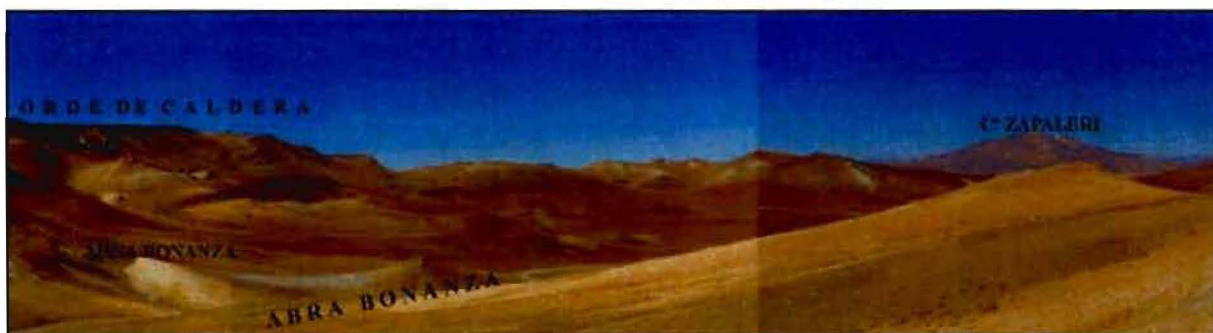
quecino con espesores que van de los 2-8 m, a los que se asocian niveles de surge y ocasionalmente depósitos de caída. Se caracterizan por presentar soldamiento moderado a variable, aspecto masivo son ricos en cristales 25-55% con un contenido moderado en pómez (5-20%) y pobre en líticos (1-7%). Los cristaloclastos son: plagioclasa  $An_{43-48}$ , cuarzo, escasa sanidina, biotita y ortopiroxeno. Los pómez son pobres en vesículas, algunos son fibrosos y otros cristalinos. La relación pómez/matriz es variable, acumulándose hacia los niveles medios a altos de los flujos.

Los fragmentos líticos son principalmente sedimentitas ordovícicas en las secciones bajas y dacíticos en las cuspidales.

### 2.2.2.2. Ignimbrita Vilama

Sobre la Ignimbrita Granada desmembrada y dislocada, descansa en discordancia angular la Ignimbrita Vilama (Coira *et al.* 1996). Esta unidad alcanza difusión areal en la depresión de Vilama. Sus principales afloramientos se emplazan al norte y sur del cerro Salle; en el interior de la depresión de Vilama hasta las proximidades de Pairique, constituyendo extensos afloramiento. Los flujos emplazados en estos sectores, se caracterizan petrográficamente por presentar coloración rosada, carácter masivo y alta proporción de sus cristales (40-60%), así como por la ausencia de niveles de caída o "surge" asociados. Tiene un contenido moderado en pómez (5-15%) y escasez en líticos (2-5%). Sus cristaloclastos están representados por cuarzo, plagioclasa ( $An_{32-26}$ ). Como componentes féficos se encuentra la biotita parcialmente desferrizada en un (10-15%), escasos ortopiroxeno y clinopiroxeno y muy ocasionalmente hornblenda.

La emisión de los flujos que constituyen la Ignimbrita Vilama, estuvo asociada al desarrollo de fracturación de subsidencia anular, que a manera de arco, se encuentran parcialmente encubiertas por los edificios Caucani-Solterío y Salle-Alcoak. Su emplazamiento fue preferencialmente hacia el interior de la depresión, presentando su máximo espesor en las inmediaciones del cerro Salle, él que disminuye progresivamente hacia el sur de la laguna de Vilama.



**Fotografía 2.1.:** Vista panorámica de Abra Bonanza. Se observa el borde caldera. Al fondo se emplazan las sedimentitas cretáceas. Las zonas alteradas muestran tonalidades blanquecinas. Observación realizada desde el lado norte.

En Abra Bonanza, la Ignimbrita Vilama que se extiende ininterrumpidamente con suave pendiente (4-8°), desde el lado este de la depresión Bonanza hacia el centro de la caldera Vilama, ha sido seccionada por una gran fractura de colapso con rumbo N-S, delimitando un frente tectónico, donde puede observarse claramente la relación estratigráfica con la Ignimbrita Granada, la que se apoya en discordancia angular (Fotografía 2.2.).

La Ignimbrita Vilama constituye una secuencia de flujos de ignimbritas, representados por tres unidades. La base de la sucesión se inicia con un depósito que presenta 20 m de potencia. Esta unidad se caracteriza por presentar tono grisáceo variando a rosado bien bajo; buen soldamiento; aspecto masivo y gran riqueza en cristales. Por sectores presenta una foliación característica, en bochas.

Esta unidad muestra cristaloclastos representados por cuarzo, biotita y plagioclasa, los que pueden alcanzar tamaños hasta 5 mm. El cuarzo con aspecto cristalino y con suave tinte rosado, llega a tener 5 mm, y muestra suave redondeamiento. La biotita forma finas laminillas hasta 4 mm, es abundante y muestra marcada orientación subparalela. La plagioclasa siempre con su hábito tabular propio también llega a tener los 6 mm como tamaños máximos. Frecuentemente se altera a agregados arcillosos.

Al microscopio se ha establecido para esta unidad un 50% en el contenido de cristaloclastos, representados por cuarzo, plagioclasa, biotita y exiguo ortopiroxeno. El primero muestra buen desarrollo, frecuentemente subredondeado por reabsorción. La plagioclasa fragmentada, frecuentemente fresca, algunos cristales muestra alteración a agregados arcillosos-sericíticos. La biotita siempre fresca es abundante (15%),

muestra marcada orientación. El ortopiroxeno está presente no superando el 7 % en proporción.

No presenta litoclastos. La matriz vitroclástica se presenta totalmente modificada por procesos de desvitrificación del vidrio, formando estructuras axiolíticas y esferulíticas.

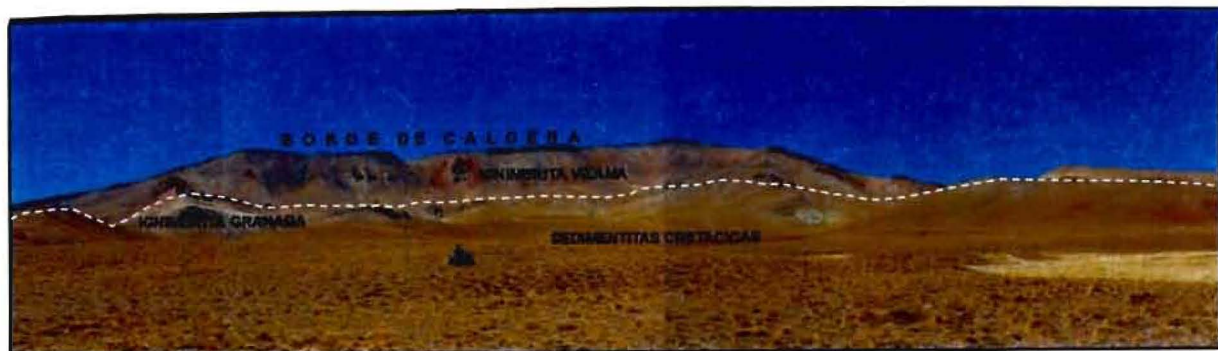
La secuencia se continúa con un flujo de ignimbrita bien soldado, el que presenta una potencia de 3 m (Fotografía 2.3.). Esta unidad se caracteriza por exhibir tono negro, elevado soldamiento; aspecto vítreo y acentuada aglutinación de su matriz vitroclástica.

En Abra Bonanza esta unidad no forma un afloramiento continuo, dado que la secuencia de la Ignimbrita Vilama, ha sido seccionada y desmembrada por fracturación, por ello afloran vitrófiros en las cercanías a Minas Viejas, en el cerro Colla y al pie del cerro Tinte, adonde esta secuencia se encuentra fuertemente deformada inclinando hacia el oeste.

Al microscopio este flujo está representado por cristaloclastos en la proporción de un 40-50% del total de la roca. Ellos están constituidos por cristales de plagioclasa, biotita, hornblenda y hipersteno, los tres constituyentes conforman un 30 % del total de la roca. El elevado contenido en fémcicos, le confiere a la roca el característico tono negro.

La plagioclasa en la proporción de un 20%, ha sido determinada como andesina media a cálcica. Los fémcicos representan a la biotita en un 10%, hornblenda (10%) y ortopiroxeno (10%). El primer componente a modo de láminas y laminillas se encuentra totalmente fresco y con acentuada orientación. La hornblenda, se caracteriza por presentar secciones basales y prismáticas bien desarrolladas. El ortopiroxeno representado por hipersteno, también muestra buen





**Fotografía 2.2.:** Se observa la relación estratigráfica de la Ignimbrita Granada con las sedimentitas cretácicas y la Ignimbrita Vilama

desarrollo de sus formas. Los dos últimos componentes se encuentran parcialmente alterados a carbonatos representados por calcita.

La matriz es de naturaleza vitroclástica, en una proporción del 50 %, se encuentra conformada por agregados de fragmentos pumíceos, los que muestran una gran diversidad en tamaños; alto grado de estiramiento; aplastamiento; fuertemente aglutinados y altamente vesiculados. Acompañan a estos componentes trizas vítreas que guardan formas cuspidales, planares, aciculares y espiculares.

La facies bien soldada de la ignimbrita, es cubierta por un flujo de 10 m de potencia, con el que culmina la secuencia de flujos de la Ignimbrita Vilama. Esta unidad muestra cambios estructurales desde su base al techo. Se inicia con un flujo el que muestra tono rosa acentuado, aspecto masivo, fuertemente soldado, elevada riqueza en cristales y abundantes fragmentos pumíceos ricos en cristales. Hacia el techo el flujo se vuelve lajoso y de tono rojizo, causado por la impregnación de limonitas.

Petrográficamente este flujo muestra una gran riqueza en cristales; fragmentados y frecuentemente formando cumulosporfíricos. Ellos están representados en una 60% del total. Los litoclastos están ausentes y la matriz se encuentra totalmente desvitrificada. Los cristaloclastos están expresados por plagioclasa, cuarzo, biotita, hypersteno y hornblenda, los tres últimos representan un 15% del total. El primer componente es el que muestra mayor predominio en un 20 %; forma cristales subhidiomorfos. El cuarzo muestra buen desarrollo y con frecuencia es subredondeado. La biotita es el fémico dominante y muestra cierto grado de desferrización. El hypersteno forma cristales bien desarrollados y la

hornblenda se presenta con tamaños pequeños.

La matriz se encuentra totalmente desvitrificada para formar agregados de cristales con estructuras axiolíticas y esferulíticas.

### 2.2.2.3. Ignimbrita Capaderos

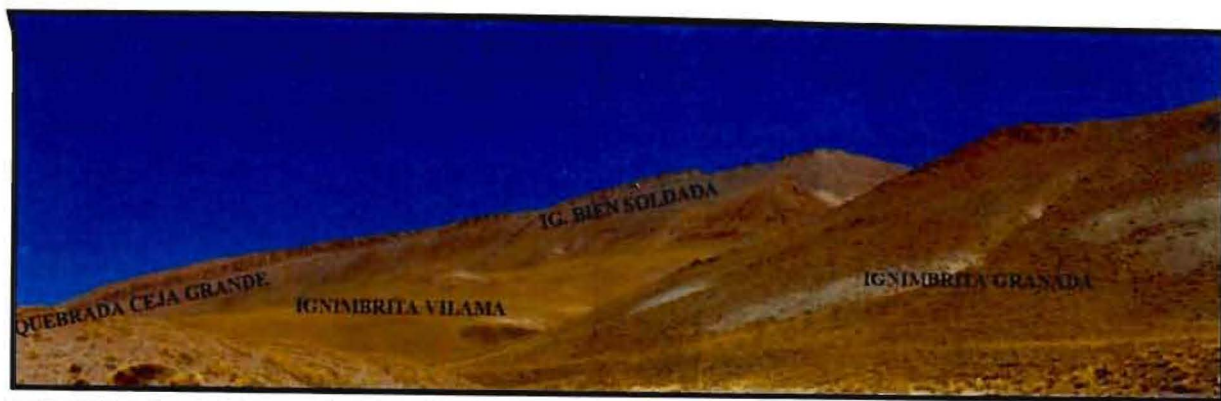
Representa a esta entidad, una sucesión de flujos piroclásticos dacíticos pardos grisáceos, representantes de un volcanismo explosivo localizado, que se reconoce a ambos márgenes del río Zapaleri (Coira *et al.*, 1996).

Esta unidad constituye un afloramiento localizado. Se emplaza en borde de caldera, sector sud-sudoeste de la depresión de Vilama, en el paraje Capaderos. Sus afloramientos se encuentran a ambos márgenes del río Zapaleri. Presenta espesores que no superan los 15 m, sin aflorar su base.

La ignimbrita se caracteriza por presentar coloración grisáceo rosada a pardo grisáceo. Moderada a alta compactación de sus pómez (hasta 1:8) y buen desarrollo de diaclasamiento subhorizontal coincidente con zonas de alto soldamiento de sus fragmentos pumíceos. Son rocas ricas en cristales (30-40%), moderadas en pómez (10-20%) y pobres en líticos (1-2%). Los cristaloclastos están representados por andesina cálcica, cuarzo, biotita (10%) y ortopiroxeno (5-2%). La matriz vitroclástica presenta moderado a intenso grado de soldamiento y total desvitrificación a agregados cuarzo-feldespáticos. Los fragmentos pumíceos suelen exhibir un aplastamiento moderado a intenso alcanzando en los niveles de mayor soldamiento relaciones 1:5.

Por el este se relaciona con la Ignimbrita Granada por medio de fracturas con orientación





**Fotografía: 2.3.:** Sector central del Abra Bonanza en la quebrada Ceja Grande.

NNO. En el flanco sur del cerro Tinte, la Ignimbrita Capaderos es cubierta por las lavas procedentes de dicho edificio volcánico. En el sector sudoeste del afloramiento, infrayace a la Ignimbrita Zapaleri. En el paraje del cerro Ceja Grande es cubierta por afloramientos saltuarios de la Ignimbrita Vilama y Atana.

La Ignimbrita Capaderos representa a un volcanismo explosivo volumétricamente restringido, emplazado contemporáneamente con la emisión de la Ignimbrita Vilama, del segundo ciclo evolutivo.

Esta unidad no cuenta con dataciones. Su posición estratigráfica es definida en base a las observaciones de campo donde es cubierta por la Ignimbrita Vilama datada en  $8.3 \pm 0.6$  Ma (K/Ar SERNAGEOMIN).

#### 2.2.2.4. Ignimbrita Zapaleri

Se reúnen en esta unidad, a una sucesión de flujos piroclásticos dacíticos, determinados por Coira *et al.* (1996) como Ignimbrita Zapaleri al pie del cerro homónimo. Turner (1982) la integra a la Fm. Vicuña Huasi y Zapaleri.

Sus afloramientos ingresan a territorio argentino desde Chile y Bolivia, por el lado sudoeste y oeste de la depresión de Vilama y se extienden a lo largo del río homónimo en ambos márgenes hasta las proximidades del cerro Tinte. Alcanza máximo espesor de 130 m en el río Zapaleri al este del cerro homónimo.

Los flujos presentan coloración pardo rosada clara, moderada a alta compactación, carácter masivo. Muestran riqueza en cristales (55-45% de matriz) con un contenido moderado en pómez (8-30%) y pobre a moderado en líticos (5-8%), correspondientes a dacitas y andesitas.

Sus cristaloclastos están representados por: cuarzo (20%), andesina sódica (40%), sanidina ocasional, biotita (25%).

Los flujos muestran en las secciones bajas y medias, moderado aplastamiento de fragmentos pumíceos (1:2-1:3), exhiben modificaciones de fase vapor hacia su techo.

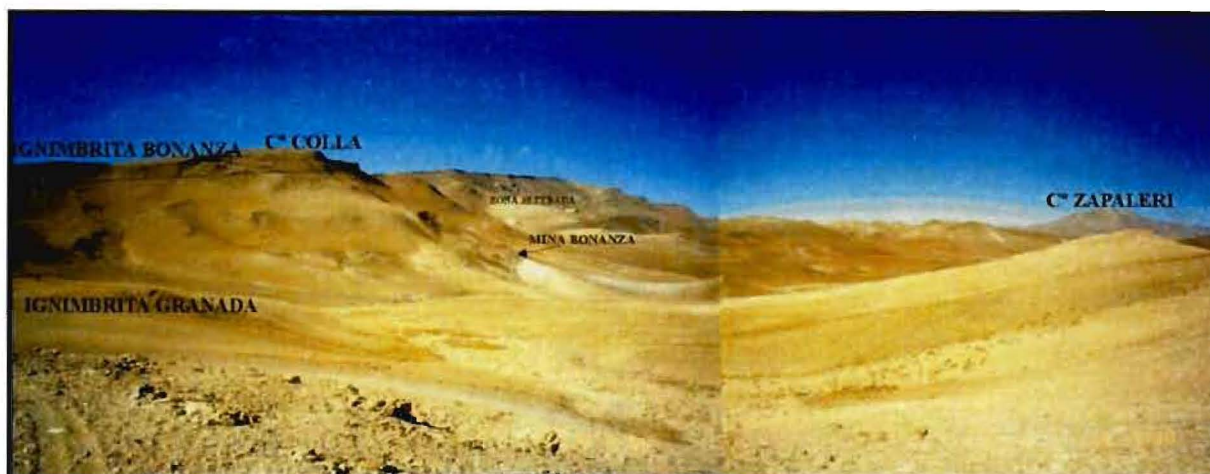
Estratigráficamente esta unidad infrayace a la Ignimbrita Atana y se apoya sobre la Ignimbrita Capaderos. Esta relación es observada a lo largo de la margen izquierda del río Zapaleri hasta las proximidades del río Tinte.

Estos flujos representan un episodio explosivo que habría tenido lugar en la Caldera Guacha (Mobarec y Heuschmidt op. cit. 1994) situada en el extremo sudoccidental de Bolivia, en la frontera con Chile y Argentina, correspondientes a facies extracaldera.

### 2.2.3. PLIOCENO PLEISTOCENO

#### 2.2.3.1. Ignimbrita Bonanza

Esta unidad reconocida por Coira *et al.* (1996), comprende a flujos piroclásticos dacíticos blanquecinos de extensión reducida, los que se encuentran constituyendo afloramientos aislados en la depresión de Vilama. Usualmente se emplazan marginando la caldera Vilama, como los afloramientos que se encuentran implantados al sur del cerro Salle. Hacia sector sur-este de la laguna de Vilama, marginan la caldera de colapso laguna Coruto-cerro Tinte y en el Abra Bonanza. Esta unidad está representada por un flujo piroclástico blanquecino moderadamente masivo, rico en cristales (35-40%), pobres en pómez (2-5%) y escasos líticos (1%).



**Fotografía 2.4.:** Sector norte de Abra Bonanza. Se observa la relación estratigráfica de la Ignimbrita Granada, Ignimbrita Vilama e Ignimbrita Bonanza.

Se distinguen varias unidades de flujos, en las secciones mas basales los flujos son masivos, muy pobres en pómez (2-7%) y en líticos (1%) y con moderado soldamiento y aplastamiento de sus fragmentos pumíceos.

Las secciones medias se caracterizan por un claro diaclasamiento subhorizontal en coincidencia con facies de moderado a alto soldamiento. Los pómez muestran soldamientos en la relación 1:5 y de hasta 15 cm de diámetro.

Los flujos de las partes cuspidales presentan diaclasamiento subvertical y importantes modificaciones por fase vapor.

Los cristaloclastos abundantes están representados por cuarzo (35%) de buen desarrollo y de tintes rosados, por andesina cálcica (25-30%), biotita (15%), hornblenda verde (8%) de escaso desarrollo y solo ocasionales cristales de ortopiroxeno. Los minerales accesorios son magnetita, apatita y circón. Los fragmentos de pómez son filamentosos y muestran estiramientos en las secciones medias.

Los fragmentos líticos generalmente como accesorios (hasta un 3 %), están representados por lutitas del basamento ordovícico, así como dacitas y andesitas.

La matriz vitroclástica se presenta parcialmente desvitrificada a agregados de cuarzo-calciedonia y feldespatos alcalinos, desarrollando texturas axiolíticas y esferulíticas.

Esta unidad muestra clara relación con los vitrófiros andesíticos donde se apoyan concordantemente, relación claramente establecida en el cerro Colla. Del mismo modo muestra

clara correspondencia con la Ignimbrita Vilama, reconocimiento realizado sector este del Abra Bonanza (Fotografía 2.4.).

La emisión de la Ignimbrita Bonanza estuvo relacionada con el desarrollo de una caldera de colapso anidada, en el ángulo noroeste del Complejo Vilama-Coruto. Sus flujos piroclásticos evidencian condiciones de mediana descarga, con una columna estable por colapso continuo, la que se traduce en depósitos homogéneos y sin discontinuidades

Esta unidad cuenta con dataciones radimétricas, establecida en  $6.2 \pm 0.5$  Ma. (SERNAGEOMIN).

#### 2.2.3.2. Lavas dacíticas del Cerro Tinte

Esta entidad definida por Coira *et al.* (1996), está constituida por coladas de composición andesítica y dacítica las que construyeron el edificio volcánico central durante el tercer ciclo evolutivo de la Caldera Vilama-Coruto. El edificio volcánico se emplaza al oeste de la depresión de Vilama, en la dirección SSW de la laguna de Vilama. Por el norte y NNW, estas lavas se ponen en contacto con lavas que proceden del cerro Negro sobre territorio chileno. Las coladas que se emplazan por la ladera sur, descansan sobre secuencias piroclásticas representadas por la Ignimbrita Vilama, Ignimbrita Capaderos e Ignimbrita Zapaleri.

Las lavas dacíticas del cerro Tinte, se caracterizan por presentar tonos negro a gris oscuro y morados. Presenta textura porfírica. Sus



fenocristales (10-15%) se encuentran representados por labradorita sódica y parcialmente reemplazada por albita, ortopiroxeno. Excepcionalmente se reconocen cristales de cuarzo fuertemente reabsorbidos. La pasta se encuentra integrada por tablillas de plagioclasa, mineral opaco y pequeños cristales de ortopiroxeno embebidos en una mesostasis vítrea. Intersticialmente se disponen en ella cuarzo (5-8%) a manera de motas.

La emisión de las lavas del cerro Tinte, se habría producido por fracturas anulares de colapso de la caldera de la laguna Coruto-cerro Tinte que se prolongan desde territorio boliviano.

Las coladas dacíticas del cerro Tinte han sido datadas en  $3.77 \pm 0.12$  Ma. (Aguater, 1979).

### 2.3. HIDROTHERMALISMO EN EL AREA BONANZA MINAS VIEJAS

Existen cuantiosas manifestaciones de hidrotermalismo en el área de estudio centralizándose principalmente donde la fracturación tectónica ha jugado un papel importante, delineando fracturas de colapso semicirculares con direcciones NNW-SSE y N-S. Ellas modelaron los bordes de caldera del Complejo Caldérico Vilama-Coruto que se vinculan con fracturas transversales de rumbo NNE-SSW, E-W, NNW-SSE, originándose de ese modo, una depresión delimitada por un frente tectónico que se extiende en la dirección N-S por el este de la depresión, y hacia el oeste la misma es delimitada por fracturas que conforman parte de la depresión de Coruto, al pie del cerro Tinte.

Los tipos y estilos de alteración permitió determinar variadas asociaciones. Las más importantes son las asociaciones de alteración argílica avanzada de alta temperatura, asociada con alteración filica y sílice subordinada; asociación de alteración argílica avanzada-filica; asociación de alteración argílica-filica-sílicea moderada; asociación de alteración argílica-filica con calcita asociada; asociación de alteración propilitica (con calcita y clorita).

El sistema hidrotermal implantado afecta de moderada a intensamente las piroclastitas de la Ignimbrita Granada (Coira *et al.* 1996), Ignimbrita Vilama y facies de la ignimbrita bien soldada de la Ignimbrita Vilama.

En el sector de estudio se manifiestan también,

episodios de brechamiento hidrotermal que afectan a la Ignimbrita Granada. Estos cuerpos conforman diques que indican procesos explosivos.

Las regiones alteradas comprende los sectores de Minas Viejas, Mina Bonanza, sector norte del cerro Colla y hacia el oeste del mismo.

En Minas Viejas, las zonas alteradas se manifiestan dentro de un sector microfracturado, argilitizado y silicificado, en el que se hallan vetas de psilomelano y wad. Muestreos geoquímicos de las fajas craqueladas detectaron anomalías en Zn, Pb, Cu, Ag y Mn; observándose fuertes correlaciones Ag/Mn.

En el sector de Mina Bonanza la Ignimbrita se presenta intensamente argilitizada-silicificada, sericitizada. En esta zona se han registrado vetas de rumbo E-W y NW-SE en las que se determinaron sulfuros y sulfosales de Ag, sulfoantimoniuros de Pb, Zn, Cu y estibinita, en ganga de cuarzo, baritina y carbonatos.

En los sectores del cerro Colla, los fenómenos de alteración se encuentran representados por áreas propilitizadas que afectaron a las ignimbritas vitrofíricas.

En la figura 2.1. se ubican las principales asociaciones de alteración hidrotermal.

### 2.4. ASOCIACIONES DE ALTERACION HIDROTHERMAL EN ABRA BONANZA-MINAS VIEJAS

#### 2.4.1. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA (CON DICKITA, PIROFILITA Y DIÁSPORO)

La zona afectada por la alteración argílica avanzada, se restringe principalmente al sector norte del abra Bonanza. En él, las sedimentitas del Subgrupo Balbuena son cubiertas por la Ignimbrita Granada intensamente modificada por la alteración hidrotermal.

La alteración sobreimpuesta en la ignimbrita es intensa y penetrativa, dado que modifica totalmente a los cristaloclastos de cuarzo, plagioclasa, biotita y a la matriz vitroclástica de la roca primaria, transformándose en una roca blanquecina y porosa, con la formación de cuarzo drúsico ("vuggy") (Fotomicrografía 2.1.)

Esta particularidad pone en evidencia el ele-



vado estado de oxidación ácida de los fluidos (pH <2, Stoffregen, 1987) actuante, para instar una acentuada lixiviación de los componentes de la piroclastita, dejando espacios abiertos, para luego ser ocupados parcialmente por cuarzo drúsico.

La alteración está representada por minerales que caracterizan a los depósitos de alta sulfuración (White 1991), representada por tres asociaciones, la primera formada por dickita-caolinita-cuarzo, dickita-caolinita-diásporo-pirofilita; dickita-pirofilita-cuarzo.

La dickita asociada a caolinita y cuarzo, son los minerales de alteración dominantes, determinados microscópicamente y corroborados mediante análisis por DRX y determinaciones PIMA. La dickita se exhibe a modo de agregados microgranoso fino de hábito tabular corto, con marcadas estructuras radiadas y bandeadas. Este componente asociado con cuarzo y caolinita, reemplaza totalmente a los cristales de plagioclasa formando pseudomorfos de ellos, (Fotomicrografía 2.3.). Estas facies de minerales de arcillas son también penetrativos en la matriz vitroclástica de la ignimbrita, a modo de finos agregados dispersos, preservando por sectores, las formas de las trizas, a manera de fantasmas.

El cuarzo se asocia con la dickita y reemplaza totalmente a los cristales de plagioclasa, pero también forma agregados bien finos los que son pervasivos en la matriz. Otros individuos con mayor desarrollo de cristales y de hábito romboédrico, ocupan las cavidades formadas por lixiviación y generalmente se encuentra intercrecido con jarosita (Fotomicrografía 2.2.).

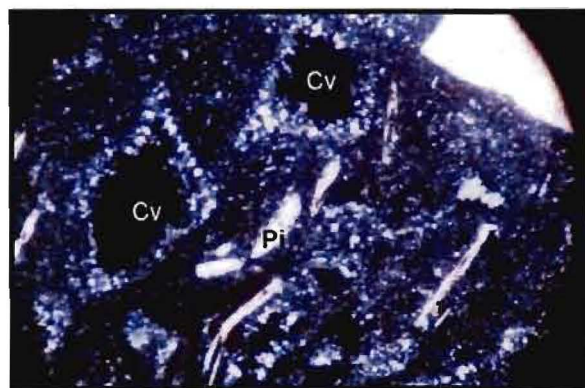
La asociación representada por dickita-caolinita-diásporo-pirofilita, se define por sectores, la que sustituye totalmente a los cristaloclastos de plagioclasa formando pseudomorfos (Fotomicrografía 2.4.).

La pirofilita es frecuente que sustituya totalmente a láminas y laminillas de biotita, preservando ésta, su hábito tabular propio. La determinación mineralógica al microscopio de este componente, fue corroborada mediante estudios de DRX (ver apartado correspondiente). El propósito de aplicar este método fue para efectuar una exacta identificación de los filosilicatos formados en la zona de alteración argílica avanzada de alta temperatura.

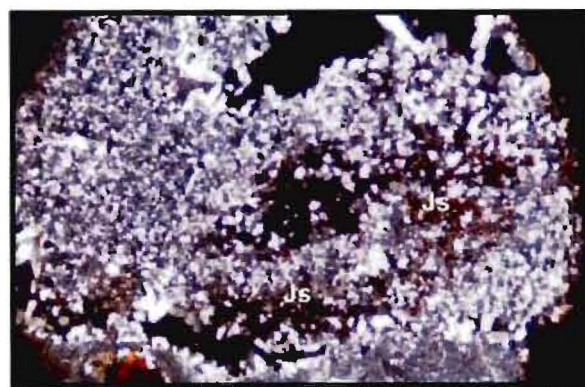
Jarosita (sulfato básico de hierro) bajo la forma de agregados de pequeños cristales y masas terrosas, o bien a modo de un diseminado, es frecuente que se presente en esta zona siguiendo microfracturas.

La matriz vitroclástica ha sufrido una intensa modificación por la alteración de tipo sulfato-ácido representada por minerales arcillosos, esto queda reflejado en la forma como se presentan las trizas, a modo de fantasmas.

A juzgar por la intensidad con que la alteración afectó a la piroclastita, los fenómenos hidrotermales actuantes corresponderían a una etapa donde los fluidos exhibían un elevado estado de oxidación reflejado en la mineralogía de alteración que caracteriza a los depósitos de alta sulfuración. La alteración sobreimpuesta representada por una zona argílica con cuarzo-dickita, nos estaría probando la instauración de un siste-



**Fotomicrografía 2.1.:** Alteración argílica representada por dickita, caolinita y cuarzo, es penetrativa en la matriz de la ignimbrita. Biotita pseudomorfa reemplazada por pirofilita (Pi). Formación de cuarzo en espacios abiertos (Cv «Vuggy») (X30 con analizador).



**Fotomicrografía 2.2.:** Agregados de cuarzo a modo de micromosaicos asociados a jarosita (Js), rellenan cavidades formadas por la intensa lixiviación ácida en la ignimbrita (X 75 con analizador).



ma epitermal de tipo de Alta Sulfuración o Sulfato Acido (White 1991) que se habría formado a partir de fluidos ácidos generados en un ambiente hidrotermal-magmático.

Los sistemas de alta sulfuración en el sentido de Heald et. al. (1987), se forman frecuentemente a lo largo de fracturas anulares en zonas próximas a bordes de calderas, a donde habría ocurrido una gran actividad volcánica con la emisión de sucesiva coladas y lavas dómicas, como lo acontecido en el borde del sistema caldérico Vilama-Coruto (Coira et. al. 1996) que ha sido controlado por fracturas anulares paralelas a la caldera Coruto, posibilitado la resurgencia de los fluidos hidrotermales con fuerte estado de oxidación.

#### 2.4.2. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA - FÍLICA

Esta zona afectada por una intensa alteración argílica, donde se forma sericita. La zona se expone en el área próxima a la franja afectada por alteración argílica avanzada, caracterizada por la presencia de dickita-diásporo-pirofilita-cuarzo, dickita-cuarzo.

La alteración en esta zona, afecta intensamente a la Ignimbrita Granada, transformándose en una roca de tono blanco, aspecto masivo y moderadamente friable.

La alteración ha modificado profundamente los rasgos texturales y mineralógicos de la roca primaria, preservando ella, relictos de los cristaloclastos de plagioclasa y cuarzo. Las trizas alteradas preservan sus formas tenues.

Las asociaciones de los minerales de alteración, están representados por dickita-caolinita-sericita-cuarzo; caolinita-sericita y caolinita-cuarzo. La pirofilita facie distintiva de la zona precedente, en ésta es exigua. Ella sustituye a las tablillas de biotita.

La sericita actúa selectivamente alterando total o parcialmente a los fenocristales de plagioclasa, formando pseudomorfos de ella. Este componente también se formó en la matriz, a modo de pequeños agregados filamentosos (Fotomicrografía 2.5.).

La plagioclasa también es reemplazada total o parcialmente por la dickita, a modo de un agregado de baja birrefringencia (Fotomicrografía 2.5.).

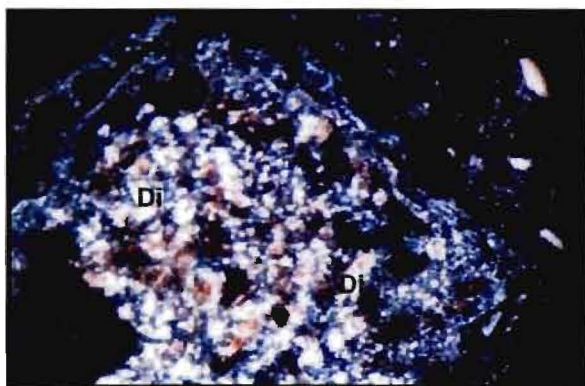
Se asocia a este componente la caolinita.

La alteración argílica representada por caolinita, se asocia a la alteración silícea representada por cuarzo subordinado, para reemplazar pervasivamente a la matriz de la ignimbrita. Se formaron también centros de recristalización de cuarzo, a modo de finos agregados microgranosos.

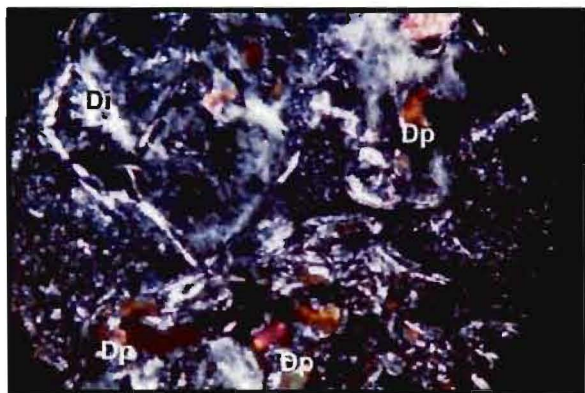
#### 2.4.3. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN FÍLICA-ARGÍLICA-SÍLÍCEA

Esta zona adyacente a la anterior, se caracteriza por haber sido afectada por una intensa alteración fílica-argílica con sílice subordinada. La presencia de dickita que caracteriza a las zonas lindantes, en esta zona desaparece. Así mismo, afecta intensamente a la Ignimbrita Granada transformándose en una roca de tono blanco, aspecto masivo y moderadamente friable.

Microscópicamente la roca refleja una profunda modificación de los rasgos mineralógicos



**Fotomicrografía 2.3.:** Agregados de dickita (Di), caolinita y cuarzo. Se puede observar el reemplazo pseudomórfico a cristales de plagioclasa (X75 con analizador).



**Fotomicrografía 2.4.:** Agregados de dickita, pirofilita y diásporo (Dp), reemplazando pseudomórficamente a cristales de plagioclasa (X 75 con analizador).



y texturales de la roca primaria. Se preservan relictos de los cristales de cuarzo. La matriz ha sufrido una profunda modificación.

Los minerales de alteración, están representados por sericita-caolinita-cuarzo. La sericita actúa selectivamente para reemplazar totalmente a los fenocristales de plagioclasa formando pseudomorfos de ella, pero también se dispone pervasivamente en la matriz (Fotomicrografía 2.6.)

La arcilla representada por un agregado fino de baja birrefringencia correspondiente probablemente a caolinita, es penetrativa en la matriz, reemplazándola totalmente. Suave alteración silícea, en forma de agregados de cuarzo microgranoso, se distribuye erráticamente (Fotomicrografía 2.7.).

#### 2.4.4. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA-FÍLICA CON CALCITA ASOCIADA

Esta zona, representada por alteración argílica-fílica asociada con calcita subordinada, se emplaza en el sector de Abra Bonanza, sector norte de Mina Bonanza. El área se encuentra afectada por fracturas trazadas en la dirección NE-SW facilitando una mejor circulación de los fluidos y contribuyendo que los procesos hidrotermales se acentúen.

La alteración afecta a los niveles de la Ignimbrita Granada, la que se encuentra desmembrada, dislocada y volcada con inclinación hacia el este. La alteración ha modificado a la roca adoptando tonalidades blanquecinas. Los rasgos mineralógicos y texturales se encuentran parcialmente modificados. Se preservan relictos de los cristaloclastos de cuarzo, plagioclasa y biotita.

La alteración argílica es pervasiva en la matriz, la textura vitroclástica se torna irreconocible preservando en forma tenue, las formas cuspidales y planas de las trizas.

Los minerales de alteración están representados por caolinita-sericita. Los minerales de arcillas forman finas escamas de baja birrefringencia, correspondientes a minerales del grupo de las caolinitas, y con menor participación esmectita, determinado mediante los análisis de DRX. Ellos reemplazan totalmente a los cristaloclastos de plagioclasa, biotita formando pseudomorfos.

La sericita como una fase subordinada a las

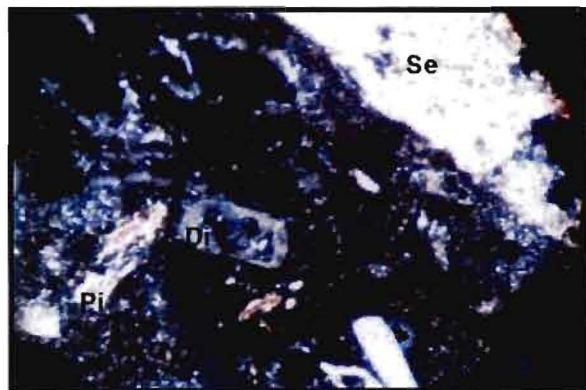
arcillas, forma agregados masivos y frecuentemente de hábito fibroso, se dispersa en la matriz. Ella juntamente con la caolinita reemplaza totalmente a la plagioclasa. El filosilicato fino y fibroso es acompañado por agregados de cuarzo a modo de microvenillas.

Alteración carbonática en forma de calcita afecta a esta zona. Está representada por agregados de pequeños cristales que reemplaza a la matriz de la piroclastita.

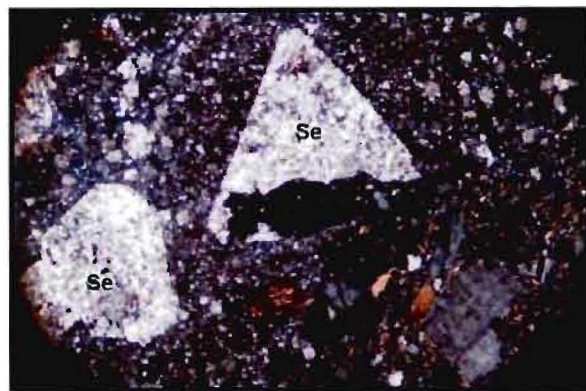
Es frecuente que esta zona se encuentre atravesada por venillas limonitizadas.

#### 2.4.5. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN PROPÍLÍTICA (CON CALCITA Y CLORITA)

La alteración propílitica se restringe al sector NE, que se extiende desde el área del Abra Bonanza hasta las inmediaciones del cerro Colla.



**Fotomicrografía 2.5.:** Cristoclastos de plagioclasa totalmente reemplazados por sericita (Se) y dickita (Di). Formación de pirofilita (Pi) en biotita. Los agregados de arcillas y cuarzo son pervasivos en la matriz de la ignimbrita (X 30 con analizador)



**Fotomicrografía 2.6.:** Agregados de sericita que reemplaza pseudomórficamente a los cristoclastos de plagioclasa, asociada con arcillas es pervasiva en la matriz de la ignimbrita (X 30 con analizador).



Ella afecta a la Ignimbrita Granada; facies de ignimbrita bien soldadas, a los flujos del nivel superior de la Ignimbrita Vilama, como así también a la Ignimbrita Bonanza en grado incipiente, donde la fractura de colapso con dirección N-S, ha dejado expuestos a estos depósitos.

La alteración sobreimpuesta muestra un cambio gradual en la intensidad del proceso. Siendo incipiente en Abra Bonanza, graduando a grado moderado hacia el cerro Colla. La alteración propilítica no modifica intensamente los rasgos mineralógicos y texturales de la roca primaria. Ella reemplaza selectivamente a algunos componentes de las piroclastitas.

Las facies de la alteración propilítica se encuentran representadas por la asociación calcita-clorita-albita. Ellas muestran distintas modalidades en la forma de presentarse. Sustituye por sectores la matriz de la piroclastita, a modo de agregados, (Fotomicrografía 2.8. y 2.9.). También, ellos reemplazan parcialmente a los cristales de plagioclasa y biotita. Es frecuente también, que la calcita se disponga siguiendo un hábito venoso (Fotomicrografía 2.10.).

Los cristaloclastos de cuarzo, componente dominante en las piroclastitas, es afectado por microfracturas que son ocupadas por calcita.

La presencia de la albita es moderada, juntamente con la calcita, reemplaza a la plagioclasa.

La biotita se altera parcialmente a clorita, muy esporádicamente en forma total para formar pseudomorfos de agregados de clorita-epidoto-opacos. También ella ha sufrido los efectos

de la desferrización, formando agregados granulares de opacos en sus bordes. Muy ocasionalmente se ha depositado la calcita rodeando a los cristales del fémico.

La alteración silícea en esta zona es incipiente, forma agregados de cuarzo que cristaliza juntamente con la calcita.

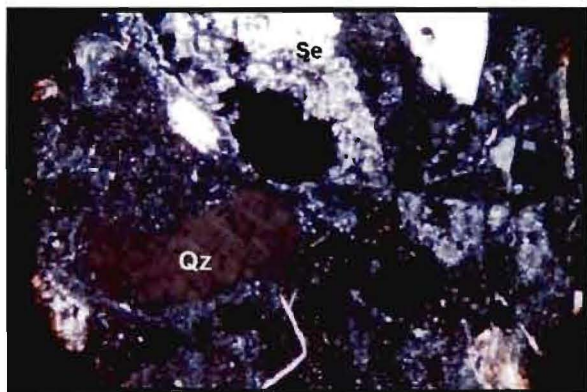
La matriz vitroclástica ha sido parcialmente modificada por la alteración propilítica. La calcita se disemina irregularmente, forma también pequeñas microvenillas de corto recorrido. Desarrollo de calcita con clorita bien fina, también reemplaza a la matriz.

La alteración se encuentra representada también por pequeños agregados de jarosita diseminada en la matriz

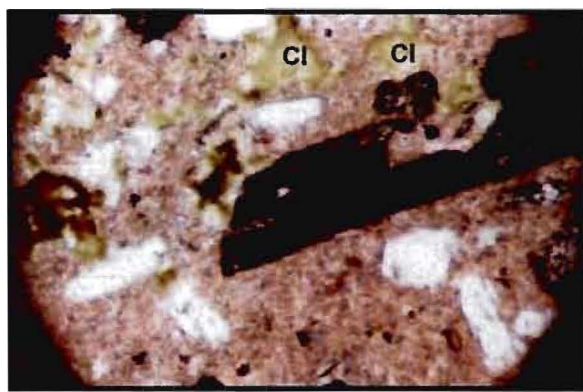
#### 2.4.6. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA-SILÍCEA

Esta zona se restringe al sector SSW del cerro Colla, donde los flujos de la Ignimbrita Granada desmembrada; fuertemente dislocada y volcada hacia el este, han sido alterados. La alteración argílica-silícea es moderada y la filica es incipiente. Los rasgos mineralógicos y texturales de la ignimbrita, han sido suavemente modificados. La matriz es la que ha sufrido mayor modificación.

Las facies de alteración están representadas por agregados arcillosos, la que reemplazan parcialmente a los cristaloclastos de plagioclasa. Es penetrativa de la matriz conjuntamente con cuarzo y sericita asociados.



**Fotomicrografía 2.7.:** Agregados de sericita (Se) reemplaza pseudomórficamente a la plagioclasa y es penetrativa en la matriz, asociados a cuarzo y alteración argílica (X 30 con analizador).



**Fotomicrografía 2.8.:** Agregados de clorita (Cl) y calcita sustituyen parcialmente a la matriz de la ignimbrita en las zonas de alteración propilítica (X 30 con analizador).



#### 2.4.7. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA-FÍLICA

Esta zona alterada se encuentra restringida al pie del cerro Colla, afectando a los flujos del nivel inferior de la Ignimbrita Vilama. Este depósito se encuentra suavemente modificado por la alteración hidrotermal, sin haber sufrido grandes modificaciones los rasgos texturales y mineralógicos de la piroclastita.

La alteración argílica es intensa, la silícea es incipiente y la fílica es moderada. Reemplaza totalmente a los cristales de plagioclasa y es penetrativa en la matriz.

La alteración argílica caracterizada por esmectita, se asocia con cuarzo y reemplaza intensamente la matriz vitroclástica de la ignimbrita, modificando totalmente las trizas las que se muestran de modo tenue.

La alteración fílica se presenta en grado moderado se asocia con las arcillas para reemplazar a los cristaloclastos de plagioclasas y a las tablillas de biotita. También es penetrativa en la matriz a modo de pequeñas laminillas (Fotomicrografía 2.11.).

#### 2.4.8. ASOCIACIÓN DE ALTERACIÓN ARGÍLICA

Esta zona se encuentra delimitada hacia el sector sur del Abra Bonanza. Se define como un franja donde los flujos de la Ignimbrita Granada han sido afectados por la alteración argílica en grado moderado. Los minerales de arcilla reemplazan en grado incipiente a los cristales de plagioclasa, mientras que en la matriz se manifiestan en grado mas intenso modificando la naturaleza vítrea de la Ignimbrita Granada.

En este sector las piroclastitas son intruidas por cuerpos de brechas hidrotermales, las que serán descriptas en el siguiente apartado.

#### 2.4.9. BRECHAS HIDROTEMALES EN LA IGNIMBRITA GRANADA

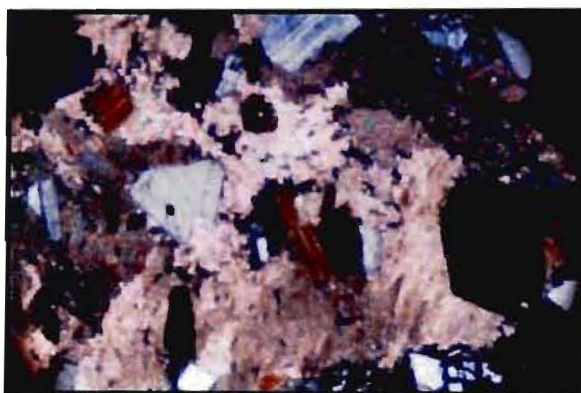
Cuerpos de brechas hidrotermal, afloran en distintos sectores a lo largo del Abra Bonanza. Ellas intruyen a los depósitos dislocados de la Ignimbrita Granada y a las sedimentitas del Subgrupo Balbuena. Los cuerpos muestran

diferencias en su composición textural, mineralógica y alteración hidrotermal sobreimpuesta en los distintos lugares de afloramientos en el Abra. Por esto, ellas se distinguen en brechas del sector norte y del sur.

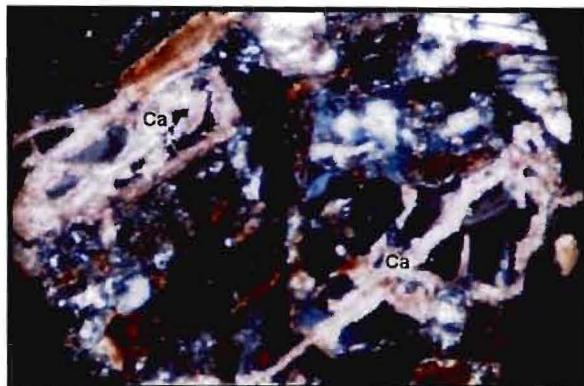
#### 2.4.10. BRECHAS HIDROTERMAL DEL SECTOR NORTE DEL ABRA BONANZA

Estas brechas se emplazan en el sector norte del Abra Bonanza, adonde intruyen a los depósitos de la Ignimbrita Granada emplazada al pie de la ladera sur del cerro Colla. Son cuerpos que se caracterizan por presentar afloramientos de corto recorrido con potencias que no superan 1 m, se orientan en la dirección NNW, y se caracterizan por mostrar una fuerte impregnación de limonitas.

Las brechas se encuentran compuestas por abundantes fragmentos de rocas volcánicas correspondientes a dacitas y andesitas, los que lle-



**Fotomicrografía 2.9.:** Agregados de calcita en la matriz de la ignimbrita, en la zona de alteración propilítica (X 30 con analizador).



**Fotomicrografía 2.10.:** Agregados de calcita (Ca) reemplazan parcialmente a los cristaloclastos de plagioclasa. Es frecuente el hábito venoso del carbonato. Desferrización de biotita (X 30 con analizador).



gan a constituir un 30% del total. Estos componentes presentan una gran diversidad en tamaños, se encuentran aquellos que pueden tener 0.5 mm y aquellos de mayor tamaño, alcanzan los 10 cm como máximo; estos últimos se presentan en un 5% del total.

Al microscopio la brecha muestra textura fragmentaria, suministrada por la presencia de clastos de cuarzo; plagioclasa; abundantes láminas y finas laminillas de biotita; asociados a los clastos de las volcanitas andesíticas y dacíticas. Ellos se encuentran soportados por una componente clástica más fina o matriz, que es lo que permite definir a la roca como una brecha oligomítica matriz-soportada.

La fracción de cristaloclastos, representados por cuarzo y plagioclasa, muestran formas angulosas. La biotita frecuentemente se presenta desflecada, plegada y deformada, estos rasgos hablan de la violencia del proceso durante el emplazamiento de la brecha.

Los litoclastos de dacitas, los que son claramente más abundantes en la matriz (20%), que los que constituyen la fracción gruesa (10%), se caracterizan por presentar textura porfírica. Se han podido diferenciar dos tipos, aquellos que tienen los fenocristales de plagioclasa parcialmente alterados asociados a los fenocristales de cuarzo en una pasta microcristalina argílica y aquellos clastos de dacita que presentan los fenocristales de plagioclasa totalmente alterados a sericita, inmersos en una pasta completamente argilitizada.

La matriz de la brecha, se encuentra compuesta por abundantes laminillas de biotita orientadas subparalelamente, inmersas en una mesostasis bien fina de naturaleza argílica.

#### 2.4.11. ALTERACIÓN PROPILÍTICA EN LA BRECHA

La alteración hidrotermal sobreimpuesta en la brecha es moderada. Ella se manifiesta fundamentalmente en la matriz, representada por la asociación calcita-clorita, esta última se presenta a modo de finas laminillas o bien formando agregados informes, la que es pervasiva en la matriz de la brecha.

La calcita se caracteriza por presentarse de diferentes modos, es penetrativa en la matriz de la brecha, sustituye selectivamente a los

fenocristales de plagioclasa de la misma y también reemplaza a los fenocristales de plagioclasa de los clastos de andesita de la brecha.

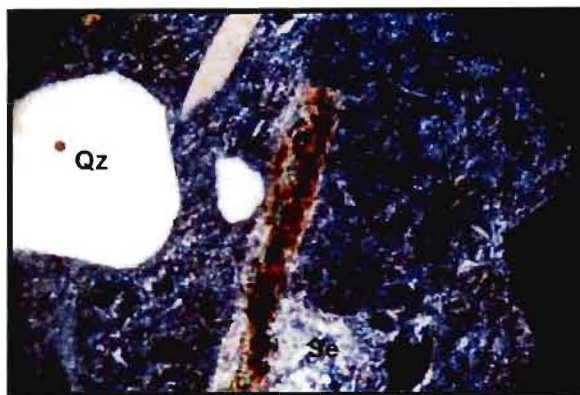
#### 2.4.12. BRECHA HIDROTHERMAL SECTOR SUR DEL ABRA BONANZA

Estas brechas se emplazan en el sector sur del Abra Bonanza. Ellas intruyen a la ignimbrita Granada deformada y alterada. Son cuerpos que muestran corto recorrido, inferiores al 1 m, con potencias que no superan 1 m. Muestran rumbo en la dirección NNW.

La brecha se encuentra constituida por agregados de clastos de ignimbrita, a la que se asocian clastos de dacitas.

Ella la constituyen cristaloclastos de cuarzo, plagioclasa altamente fragmentados, abundante láminas y laminillas de biotita en la condición de frescas y parcialmente desferrizadas y flexionadas, asociados a fragmentos de volcanitas. Estas últimas están representadas por clastos de andesitas y dacitas alteradas en mayor o menor intensidad. La acompañan exigüos litoclastos correspondientes a filitas y areniscas. Ellos se disponen en una matriz constituida por abundante laminillas de biotita bien fina, las que se asocian a una masa isótropa representada por sílice amorfa.

Los clastos de las volcanitas, también han sufrido una acentuada penetración de sílice amorfa, como así también es frecuente que ella, impregne la matriz cementando a los clastos.



**Fotomicrografía 2.11.:** Agregados de sericita (Se) reemplaza parcialmente a biotita. Finas laminas de sericita asociada a arcillas es pervasiva en la matriz de la ignimbrita. Se preservan los cristaloclastos de cuarzo (X 30 con analizador).



#### 2.4.13. VETAS MINERALIZADAS EN ROCAS CRETÁICAS, “MINA BONANZA”.

Los cuerpos de vetas mineralizadas, se emplazan en areniscas limosas grises verdosas correspondientes al subgrupo Balbuena. Estos cuerpos constituyen afloramientos de corto recorrido inferiores a 1 m, potencias de 0.80 y rumbo en las direcciones NW-SE e inclinada subverticalmente.

La morfología de la veta a lo largo de la cual se dispuso la mineralización, es de forma tabular subvertical de espesor irregular, con potencia media de 0,8 m. Esta rellena fracturas de direcciones subparalelas lo que estaría indicando el aprovechamiento de un fracturamiento con distribución paralelo de orientaciones cercanas a la dirección NW.

Las texturas de depositación de la mena son predominantemente de relleno de fracturas. La mena se depositó masivamente usualmente asociada a la baritina. La mineralización económica es de Pb-Zn y Ag, con tenores de 1.93 % Pb, 5.6 % Zn y 180 g/T Ag. Se diferencia los minerales de importancia económica según su proporción: en galena, blenda verde y pirita, constituyendo ellos los componentes principales de la mena.

#### 2.4.14. ZONA DE MINAS VIEJAS

En la zona Minas Viejas, se hallan expuestos sectores con diseminaciones de óxidos de manganeso cementando fajas craqueladas y microfracturadas en las sedimentitas del Subgrupo Balbuena. Estas manifestaciones llegan a alcanzar varias decenas de metros de ancho. La zona se encuentran argilitizada y silicificada en las que se alojan manifestaciones vetiformes de psilomelano y wad.

Un muestreo realizado sobre las mismas arrojó tenores de hasta 25% Mn; 1,8% Pb; 4,5% Zn; 1,5% Cu y 120 g/tn Ag.

#### 2.4.15. ASPECTOS GENÉTICOS DEL SISTEMA EPITERMAL

Las asociaciones de alteración observadas en el área de estudio, registran una paragénesis típica de los sistemas epitermales de alta

sulfuración (Hedenquist 1987, Heald *et al.* 1987, White 1991, White y Hedenquist 1995), sistema que se habría implantado en el borde de caldera del Complejo Caldérico Vilama-Coruto, aprovechando en parte estructuras asociadas al colapso del CCVC.

El sistema se puede llegar a tipificar, adoptando clasificaciones y modelos propuestos a otros ambientes geotermales. La alteración hidrotermal del sector afecta a los flujos de la Ignimbrita Granada, Ig. Vilama y a las sedimentitas Cretácicas siendo estas última, las más propicias para la depositación masiva de los minerales metalíferos, como lo muestra las vetas de Mina Bonanza.

Al lo largo del Abra Bonanza se ha ido delimitando claramente distintas asociaciones de alteración hidrotermal, lo que demuestra que han acontecido cambios en las condiciones de temperatura de los sistemas hidrotermales, como así también en la naturaleza de los fluidos, manifestadas en las asociaciones de los minerales de alteración.

En el lado norte del Abra de Bonanza, se ha establecido una zona, cuyas asociaciones paragenéticas permite definirla como una zona de alteración argílica avanzada de alta temperatura. Ella se encuentra representada por las asociaciones de dickita, caolinita, diásporo, pirofilita, natroalunita (determinada por RX) y cuarzo. Estas paragénesis indican depositación desde fluidos hipogénicos de pH bajo, (Buchanan 1981, Reyes 1990, Giggenbach 1992) y como establece Hemley *et al.*, (1969) y Reyes, (1990) son minerales estables bajo condiciones ácidas. Así también, el último autor confirma que, la coexistencia de pirofilita con dickita y diásporo, indica condiciones de temperaturas > 260°. De lo que se desprende que, en este sector los fluidos actuaron a mayor temperatura aproximándonos hacia el área fuente de calor, asociada al ascenso de una pluma de vapor magmático rico en SO<sub>2</sub> exsuelto de un magma profundo, este gas interacciona con fluidos meteóricos en las zonas superficiales dando lugar a unas aguas sumamente ácidas que ascienden a lo largo de fracturas.

La zona se caracteriza por estar restringida al sector norte, dado que el emplazamiento de las lavas del cerro Tinte, pueden haber obscure-

cido la real extensión de la misma. Si tenemos en cuenta también, que a escasa distancia en la dirección NNW, se encuentra el centro lávico (Plio-Pleistoceno) del cerro Negro, localizado en el interior de la caldera Coruto, en él que se ha reconocido una importante área de alteración hidrotermal, distinguiendo brechas hidrotermales y zonas de alteración argílica avanzada de alta temperatura, con la presencia de alunite como facie principal, a la que se asocian sulfuros y sulfosales diseminados (Mina Amancay), encuadrado en un sistema de alta sulfuración; el mismo podría tener filiación genética con el sistema de Abra Bonanza o ser mas joven.

Episodios termales que generaron fluidos ricos en carbonatos como lo refleja la presencia de calcita en la zona de alteración argílica-filica con calcita asociada en la Ignimbrita Granada, y de acuerdo a lo expresado por White y Hedenquist (1995), procesos de carbonatación se da en sistemas con fluidos de pH altos. De acuerdo a ello, se plantea a un sistema geotermal que van cambiando sus condiciones cuando nos desplazamos hacia el lado sur.

Atendiendo a su vez, lo formulado por (Simmons y Christenson 1994), los fluidos carbonatados cargados en  $\text{CO}_2$  generan condiciones de ebullición, originando fenómenos de brechamiento hidráulico, como lo acontecido en Bonanza al ocurrir el emplazamiento de cuerpos de brechas que intruyen a la Ignimbrita Granada y las vetas mineralizadas emplazadas en las sedimentitas Cretácicas.

Desde el sector donde comienza a aparecer la calcita desplazándonos hacia el lado SE, se intensifican los fenómenos de carbonatación con la presencia de calcita asociada a la clorita, definiendo de ese modo la zona de alteración propilítica (con calcita y clorita). Ella afecta principalmente a las facies bien soldadas de la Ignimbrita Vilama.

El transporte y depositación masiva de la mineralización metálica asociada con baritina y sílice microgranosa, puede que halla acontecido como un segundo episodio, siendo las sedimentitas cretáceas las rocas mas propicias para su formación dado que en los depósitos de ignimbritas está ausente. El modelo presupone un transporte de metales y sulfatos en la solución, produciéndose la precipitación masiva al disminuir la temperatura.

## 2.5. BIBLIOGRAFIA

- AQUATER, 1979. Estudio del potencial geotérmico de la Provincia de Jujuy, República Argentina. Secretaría de Estado de Minería. Inédito: 175-187.
- BERGER, B.R. & P.L., EIMON, 1983. Conceptual models of epithermal precious-metals deposits. In: SKANKS, W.C. (ed.) Cameron volume on un conventional mineral deposits. Society Mining Engineering: 191-205.
- BUCHANAN, L.J., 1981. Precious-metals deposits associated with volcanic environments in the southust. In DICKINSON, W.R. & W.D. PAYNE (ed.) Relation of tectonics to ore deposits in the Southern Cordillera Arizona. Geological Society Digest 14:237-262.
- COIRA, B., CAFFE, P.J., KAY, S.M., DIAZ, A. y RAMIREZ, A., 1996. Complejo volcánico Vilama - Sistema caldérico del Cenozoico superior en Puna, Jujuy. XIII Congreso Argentino de Geología, Actas III: 603-620. Buenos Aires.
- COIRA B., CAFFE P.J., RAMIREZ A., CHAYLE W., DIAZ A., ROSAS S., PEREZ A., PEREZ E.M.B., OROSCO O. y MARTINEZ M., 1998. Hoja Geológica 2366-I Mina Pirquitas (escala 1:250.000). Dirección Nacional del Servicio Geológico. Secretaría de Minería de la Nación. En prensa.
- GIGGENBACH, W.F., 1992. Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries. *Economic Geology*, 87: 1927-1944
- HEALD, P., D.O., HAYBA & N.K. FOLEY, 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid sulfate and adularia sericite types. *Economic Geology* 82:1-26.
- HEDENQUIST, J.W., 1987. "Mineralization Associated with Volcanic-related Hydrothermal Systems in the circum-Pacific Basin", in Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore. Horn, M.K., Ed., American Association Pet. Geology: 513-524.
- HEMLEY, J.J., HOSTETLER, P.B., GUDE, A.J., and MOUNTJOY, W.T., 1969. Some stability relations of alunite: *Economic Geology* v. 64, p. 599-612.
- MOBAREC R. Y B. HEUSCHMIDT, 1994. Evolución tectónica y diferenciación magmática de La Caldera de Guacha, Sudoeste de Bolivia. Actas VII Congreso Geológico Chileno I: 112-116.
- MORENO, J.A., 1970. Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico superior de la cuenca del Noroeste Ar-

- gentino, con especial mención a los Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara. Revista Asociación Geológica Argentina, 25 (1): 9-44.
- REYES, A.G., 1990. Petrology of Phillipine geothermal system and the application of alteration mineralogy to their assessment. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 43: 279-309.
- SIMMONS, S.F. y CHRISTENSON, B.W., 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system. American Journal of Science 294: 361-400.
- STOFFREGEN, R., 1987. Genesis of acid sulfate alteration and Au-Cu mineralization at Summitville. Economic Geology V 82, p. 1575-1591
- VILELA, 1951. Acerca del hallazgo del horizonte calcáreo dolomítico en la Puna Salto-Jujeña. Asociación Geológica Argentina, Revista IV: 101-107.
- WHITE, N.C., 1991. «High Sulfidation Epithermal Gold Deposits: Characteristics and a Model for their Origin». Geological Survey of Japan Report 277: 9-20.
- WHITE, N.C. y HEDENQUIST, J.W., 1995. Epithermal Gold Deposits: Styles, characteristics and exploration. Society of Economic Geologists, Newsletters N° 23: 1-13.





## **Capítulo III**

# **ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y MINERALIZACIÓN ASOCIADA EN EL ÁREA CERRO PULULUS**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

Pululus se ubica en el extremo noreste de la depresión de Vilama situada a unos 29 km hacia el oeste del cerro Granadas y a 25 km al este de la frontera Boliviana. El área del C° Pululus lo conforma un extenso escudo ignimbrítico de relieve suave que se eleva por encima de los 5000 m, alcanzando los 15 km de diámetro en extensión submeridional.

Hacia el oeste de Pululus se extiende la laguna de Vilama, la que se prolonga por 15 km en la dirección norte-sur y más hacia el occidente, se eleva la cadena de centros volcánicos pleistocénicos como los cerros Tinte, Panizos, Negro, Vilama y Pelado, los que se encuentran contruidos por lavas andesíticas reflejo de un magmatismo postcaldérico asociado al ciclo de desarrollo de la caldera anidada Vilama-Coruto (Coira et. al. 1996).

El emplazamiento de la ignimbrita Pululus se restringe al borde septentrional oeste de la Caldera Vilama-Coruto, la que es surcada por lineamientos semicirculares de extensión regional que se asocian con la estructuración de colapso del borde de caldera, en respuesta a un volcanismo explosivo que crea amplios sistemas de fracturas y condiciones geológicamente favorables para la circulación de fluidos y la implantación de sistemas geotermales.

En el contexto geológico de la comarca intervienen las siguientes unidades estratigráficas: la Ig Vilama compuesta por flujos piroclásticos que cubren una considerable extensión en la depresión homónima, la Ig Salle y Bonanza de extensión más localizada, unidades implantadas al pie del cerro Salle.

### **3.2. GEOLÓGIA DEL ÁREA PULULUS**

#### **3.2.1. IGNIMBRITA VILAMA**

Esta unidad que alcanza difusión areal en la

depresión de Vilama, sus principales afloramientos se emplazan al norte y sur del cerro Salle; en el interior de la depresión la que se extiende hasta las proximidades de Pairique y en área de Bonanza-Zapaleri por el oeste.

En la comarca de Pululus al pie del cerro Salle, la Ig Vilama es cubierta por la ignimbrita Salle y en Pululus infrayace a la Ig Pululus.

La emisión de los flujos de la Ig Vilama, estuvieron asociados al desarrollo de fracturaciones de subsidencia anular que a manera de arco se encuentran parcialmente encubiertas por los edificios Caucani-Solterío y Salle-Alcoak. Su difusión y emplazamiento fue preferencialmente hacia el interior de la depresión, presentando su máximo espesor en las inmediaciones del cerro Salle, él que disminuye progresivamente hacia el sur de la laguna de Vilama.

Los flujos de la Ig Vilama se caracterizan por presentar coloración rosada, carácter masivo y elevada riqueza en cristales (40-60) los que se encuentran representados por cuarzo, plagioclasa ( $An_{32-26}$ ). Los féficos se hallan expresados por biotita en un (10-15%) parcialmente desferizada, escasos ortopiroxeno y clinopiroxeno y muy ocasionalmente hornblenda. Presentan un contenido moderado en pómez (5-15%) y trizas vítreas, los que muestran en mayor y menor grado desnaturalización del vidrio. Los contenidos en líticos (2-5%) son más bien escasos en esta unidad.

#### **3.2.2. IGNIMBRITA SALLE**

Esta entidad reúne flujos piroclásticos dacíticos fuertemente soldados, registrados por Coira et. al (1996) al pie de cerro Salle sector norte de la depresión de Vilama. Turner (1982) integra a esta unidad, dentro de la Fm. Lipiyoc.

El depósito conforma un afloramiento localizado a los flancos nordeste y sur del cerro Salle,

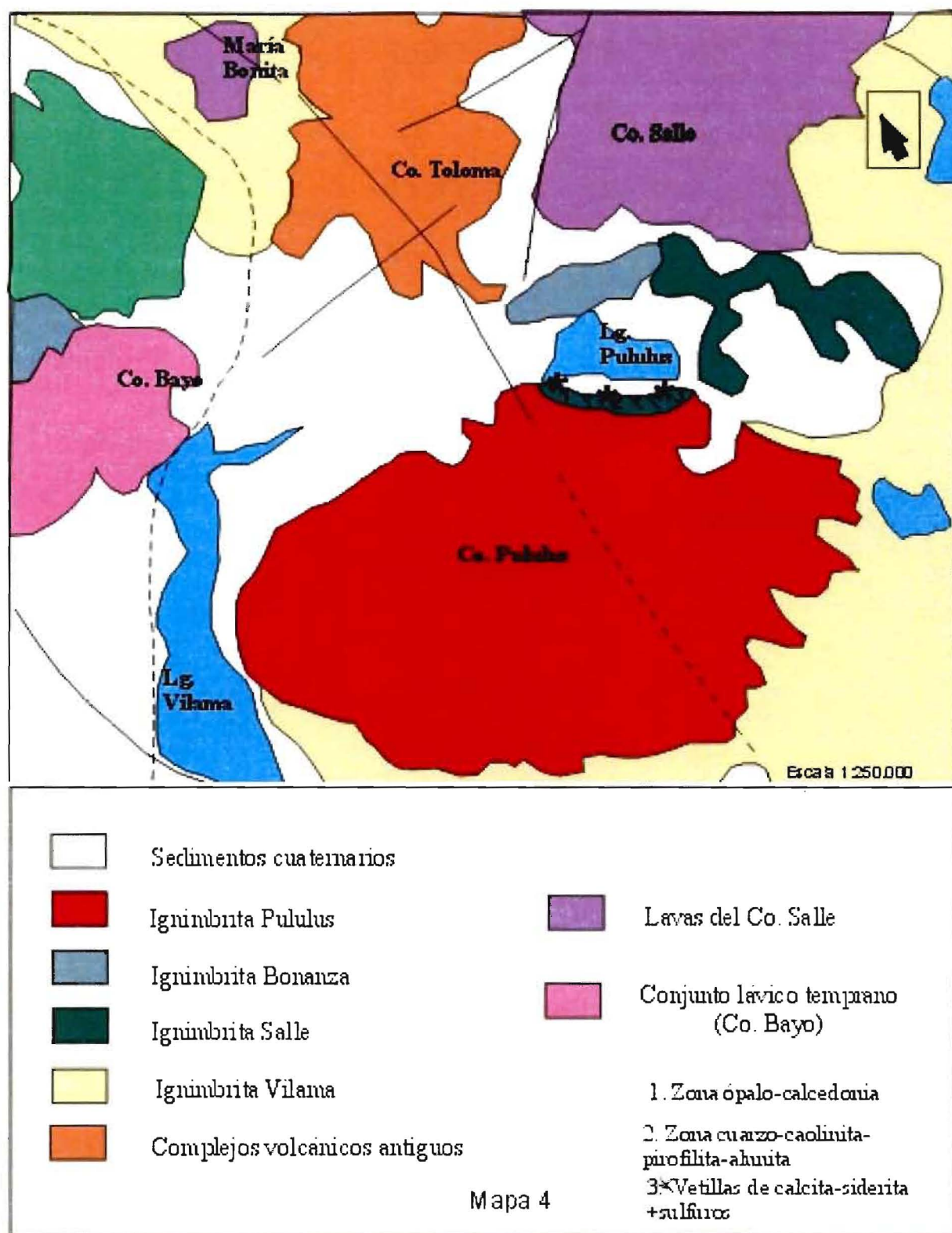


Figura 3.1.: Mapa geológico del área Cerro Pululus



adonde sobreyace a la Ignimbrita Vilama y es cubierta por la Ig Bonanza y las lavas dacíticas procedentes del C° Salle.

La Ignimbrita Salle representa un volcanismo explosivo volumétricamente restringido al episodio volcánico del 2do ciclo evolutivo de la caldera Vilama (Coira et. al. 1996). Esta actividad tuvo lugar a través de estructuras de colapso previas reactivadas localmente (cerro Salle).

La disminución de espesores de las distintas unidades de la Ignimbrita Salle a medida que se alejan del centro, junto a la dirección de inclinación de sus flujos, a la orientación en ella de los fragmentos, así como a su fábrica magnética (direcciones K ; Somoza et al., 1994) indican que se habrían derramado desde el cerro Salle hacia el norte y sur.

Los flujos se caracterizan por presentar tonos pardo grisáceos oscuros y elevado soldamiento. En ellos se diferencia un miembro basal a intermedio formado por flujos piroclásticos con buena compactación, elevado soldamiento y una gran riqueza en fragmentos pumíceos vitrofíricos de tonos negro, con acentuada evidencia de aplastamiento. El miembro superior agrupa a una sucesión de depósitos de caída pumíceos y flujos piroclásticos alternantes, de color blanquecino menos compactos que el miembros inferior.

La unidad se caracteriza por presentar una elevada riqueza en cristales (35-40%) representados por andesina media (55%) zonal. Como fémicos biotita (25%) y ortopiroxeno (8%). Los contenidos en pómez son de moderado a alto (15-30%) y las proporciones en líticos (< 5 %) son bajas, representados por andesitas y dacitas.

Su matriz vitroclástica como los fragmentos pumíceos muestran un elevado grado de soldamiento, con relaciones ancho-largo de 1:3-1:6 y ordenamiento subparalelo. Ella presenta efectos de desvitrificación para formar agregados cuarzo-feldespatícos en forma de texturas eutaxíticas

### 3.2.3. IGNIMBRITA BONANZA

Esta unidad reconocida por Coira et al. (1996), agrupa a un conjunto de flujos piroclásticos dacíticos blanquecinos que descansan al pie del cerro Salle. Turner (1982) no discrimina a esta unidad y la integra dentro de las Formaciones Lipiyoc y VicuñaHuasi.

Este depósito constituye un afloramiento localizando marginando el borde de la caldera. Se corresponden con flujos piroclásticos de tono blanco de moderada dureza y una gran riqueza en cristales (35-40%). Pobres en los contenidos de pómez (2-5%) y líticos (1%).

En las secciones basales los flujos son más masivos, más pobres en pómez (2-7%) y en líticos (1%). Sólo en algunos casos evidencian moderado soldamiento con aplastamiento de sus fragmentos pumíceos. Las secciones medias se caracterizan por presentar un neto diaclasamiento subhorizontal en coincidencia con facies de moderado a alto soldamiento, las que muestran estiramiento de los pómez (1:5) de hasta 15 cm de diámetro. Las secciones cuspidales están más afectadas por diaclasamiento subvertical y muestran importantes modificaciones por fase vapor.

La matriz de naturaleza vitroclástica se encuentra desvitrificada a agregados de cuarzo-calcetonia y feldespatos alcalinos, mostrando en los niveles de moderada a alta aglutinación, buen desarrollo de texturas axiolíticas y esferulíticas. Los cristaloclastos abundantes son: cuarzo (35%) de buen desarrollo con tintes rosados, andesina cálcica (25-30%), biotita (15%), hornblenda verde (8%) de escaso desarrollo y solo ocasionales cristales de ortopiroxeno. Los minerales accesorios son magnetita, apatita y circón. Los fragmentos de pómez vítreos y filamentosos, muestran estiramientos en las secciones medias. Los fragmentos líticos generalmente en bajas proporciones (1 a 5%), están representados por lutitas del basamento ordovícico, así como de dacitas y andesitas.

### 3.2.4. IGNIMBRITA PULULUS

Esta unidad definida por Coira et al. (1996b), constituye un afloramiento en forma de escudo que se apoya discordantemente sobre la Ignimbrita Vilama. Turner (1982) la incluyó dentro de la Formación Galán y le asignó edad Pleistocena.

La unidad se implanta en el borde septentrional de la depresión de Vilama, marginada por fracturas circulares de extensión regional que delimitan al sistema caldérico Vilama-Coruto.

Esta entidad la integran flujos piroclásticos dacíticos con acentuada coloración rosado y moderado soldamiento. Muestra gran riqueza en cristales (35-40%) e intensa alteración por procesos

fumarólicos. Sus cristaloclastos se encuentran representados por andesina cálcica (40%) fuertemente cribada; cuarzo (25%) de naturaleza fragmentaria, como fémicos la lamprobolita (15%), biotita (10%), y ortopiroxeno (8%) determinado como hipersteno. Este último componente muestra pasaje de sus bordes a goethita y clinopiroxeno. Como constituyentes accesorios se presenta la apatita de tono rosada suave con variaciones a pardo rosada, este componente llega a constituir en ocasiones, microfenoclastos.

La matriz de naturaleza vitroclástica, se encuentra representada por trizas y fragmentos pumíceos ricos en cristales (20-25%). Ella frecuentemente se encuentra desvitrificada con pasaje a texturas microfelsíticas, microgranosas y esferulíticas, como así también, forma agregados de cuarzo, tridimita, calcedonia y feldespato alcalino frecuentemente con texturas esferulíticas radiadas y de hábito plumoso.

La ignimbrita se halla afectada por un intenso fracturamiento y fisuras, las que no responden a ninguna dirección preferencial formadas durante los procesos de enfriamiento del flujo. Estas estructuras presentan amplitudes variables que en algunos casos llegan a exhibir pocos milímetros y excepcionalmente se ensanchan hasta alcanzar los 4 cm de espesor. Sus buzamientos generalmente son de altos ángulos hasta alcanzar la verticalidad. Sus rumbos son variados, siendo sus direcciones mas frecuentes entre los N 8° a 20° E. También es frecuente el desarrollo de diaclasas con rumbo en la dirección E-W (ejemplo veta Yareta).

Mineralización de estaño es hospedada por esta ignimbrita, el que se presenta tapizando las fisuras o diaclasas formadas durante los procesos de enfriamiento. La casiterita se dispone a modo de delgadas películas de hábito fibroso y botroidal asociada frecuentemente a hematita, ejemplos de estos depósitos se encuentran en las Vetas Vilama, Mojón y Yareta.

### 3.3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

#### 3.3.1. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN LA IGNIMBRITA SALLE

Esta unidad se encuentra infrayaciendo a la

ignimbrita Pululus en el sector septentrional del escudo ignimbrítico, adonde se halla afectada por la alteración hidrotermal en la que se han diferenciado dos zonas de alteración. Una zona occidental con alteración silícea de baja temperatura representada por ópalo y calcedonia, y una región oriental marcada por una zona de alteración silícea de más alta temperatura en la que participa alteración argílica y la que se relaciona con vetas y venillas compuestas por carbonatos y baritina ligados a los sulfuros, definido como un evento termal póstumo.

La ignimbrita Salle caracterizada por presentar tonalidades gris oscuro y elevado grado de soldamiento, por la alteración sobreimpuesta adquiere tonos grisáceos a pardo-blanquecinos, y pardo rojizos en los sectores con fuerte penetración de depósitos ferruginosos tardíos.

#### 3.3.2. ZONA SILICIFICADA DE BAJA TEMPERATURA

La zona de alteración silícea definida como de baja temperatura, se manifiesta en el borde septentrional-occidental del escudo ignimbrítico de Pululus (ver figura 3.1.), donde en las partes mas bajas se expone la ignimbrita Salle afectada por la alteración hidrotermal. La unidad basal gris expone los efectos de la alteración hidrotermal sobreimpuesta, manifiesta por silicificación de baja temperatura, donde la matriz vitroclástica expone las modificaciones, sin presentar cambios penetrativos en los cristaloclastos de cuarzo y plagioclasas, como así también en los rasgos texturales de la roca primaria.

La alteración silícea de baja temperatura caracterizada por la presencia de sílice en forma de ópalo y calcedonia, invade pervasivamente la matriz vitroclástica de la ignimbrita. Ella se caracteriza por formar texturas de hábito fibroso radial concéntricas, esferulítico y plumosas, la que modifica intensamente la matriz de la misma. Ello habla de la importante actividad fumarólica que acaeció durante el proceso de enfriamiento de la ignimbrita modificando su matriz.

Los componentes de la ignimbrita representados por cristaloclastos de cuarzo y plagioclasas, no presentan evidentes efectos de la alteración silícea, no así en los fémicos constituidos por

biotita, anfíboles y hipersteno, la alteración ha sufrido una intensa modificación con acentuada destrucción y desferrización, para formar pseudomorfos de agregados granulares de opacos y limonitas.

### 3.3.3. ZONA SILICIFICADA-ARGILITIZADA

Esta zona circunscripta al sector septentrional-oriental, la Ig Salle manifiesta una intensa alteración silícea acompañada por alteración argílica representada por caolinita-illita, facies arcillosas determinadas mediante estudios por DRX. Este método ha permitido determinar también, la presencia de minerales de alteración como pirofilita y alunita, facies minerales guía de sistemas epitermales de “alta sulfuración” desarrollado bajo condiciones ácidas.

La alteración ácida marca profundos cambios mineralógicos y texturales, tanto en los cristaloclastos como en la matriz de la ignimbrita, preservándose exiguos relitos de cristales de cuarzo primario, lo que habla de la intensa acción de los fluidos ácidos sobre la roca. Los cristaloclastos de plagioclasa y los fémcicos fueron los más vulnerables a los efectos de la alteración, convirtiéndose en pseudomorfos de arcillas y cuarzo.

La alteración silícea en forma de cuarzo, se encuentra representada por agregados microgranulosos el que es pervasivo en la matriz de la piroclastita. La alteración argílica subordinada, es englobada por los agregados de cuarzo para reemplazar a la matriz, así como también, sustituir totalmente a los cristaloclastos de plagioclasas formando pseudomorfos de arcillas.

De la definición microscópica de los minerales de alteración, así como los determinados mediante estudios de DRX, se concluye que en este sector el sistema ha reflejado condiciones de más altas temperaturas en los fluidos, bajo condiciones ácidas y al estar esta zona afectada por vetas y vetillas compuestas de carbonatos, se presupone el acaecimiento de episodios termales póstumos con la emisión de fluidos carbonáticos vinculados a la mineralización de sulfuros, como lo manifiestan las vetas y venillas emplazadas en este sector.

### 3.3.4. VETAS Y VETILLAS CON CARBONATOS MINERALIZADOS

En la ignimbrita Salle fuertemente silicificada-

argilitizada, se manifiestan cuerpos de vetas y vetillas mineralizadas, las que constituyen una basta red orientadas de diferentes formas, generalmente milimétricas a centimétricas (en algunos casos > 20 cm de potencia).

Estas estructuras se encuentran ocupadas por agregados masivos de calcita, siderita, con buen desarrollo de sus cristales, donde su determinación microscópica es corroborada mediante estudios por DRX. En su textura engloban cristales de cuarzo subordinado.

Los agregados masivos de calcita y siderita incorporan la mineralización de sulfuros, los que frecuentemente se disponen con hábito fibroso-radial y en bandas.

Los fluidos hidrotermales carbonáticos aprovecharon sistemas de pequeñas fracturas y microfracturas, estrechamente espaciadas multidireccionales y empinadas y con potencias inferiores a los 25 cm, hasta tamaños microscópicos.

Estas estructuras formadas sobre la ignimbrita silicificada-argilitizada, marca un episodio póstumo al evento termal silíceo de más alta temperatura y la presencia de carbonatos sugieren condiciones de pH intermedios a alcalinos.

### 3.3.5. MINERALIZACIÓN METÁLICA EN LA IGNIMBRITA PULULUS

La ignimbrita Pululus implantada por encima de la Ignimbrita Vilama y Salle, su emplazamiento se restringe al borde septentrional de la Caldera Vilama, surcada por los lineamientos semicirculares de extensión regional, que se asocian con la estructuración de colapso del borde de la caldera homóloga.

La estructuración así como la fracturación y microfracturación que afecta a la ignimbrita, han jugado un papel importante para el control, migración e implantación de sistemas hidrotermales mineralizantes.

Los sistemas de fracturación y fisuración en general llegan a presentar pocos milímetros y excepcionalmente se ensanchan hasta alcanzar los 4 cm en espesor. Muestran gran diversidad en sus corridas estando ellas comprendidas entre 1 y los 100 m. Las direcciones de rumbo son variados, presentando en la mayoría ordenaciones entre N 8° a 20° E. y el buzamien-



to más frecuente, es de alto ángulo hasta alcanzar la vertical.

La actividad fumarólica como un proceso tardío vinculado al proceso de enfriamiento del flujo piroclástico, afectó a la ignimbrita (Coira et. al). Ello produjo una intensa desferrización de los félicos para formar agregados granosos de hematita y opacos, lo que imparte a la roca en su conjunto, una destacada tonalidad rosada fuerte a rojizo, así como una intensa desnaturalización de la matriz vitroclástica de la ignimbrita.

Las fisuras y diaclasas generadas por el enfriamiento de los flujos, es lo que ha permitido que la mineralización de estaño generada por procesos exhalativos, se canalice por ellas para depositarse rápidamente a modo de delgadas películas de casiterita de hábito acicular radiado que ellas presentan, en función de la disminución de la temperatura.

La casiterita se presenta de color rojo vivo, y de color oscuro pardo a negro. Los cristales se encuentran corroídos y no tienen brillo, a veces se hallan cristales desde hasta 2 mm de diámetro. En la veta Yareta la casiterita forma costras de superficie botroidales.

### 3.4. CONDICIONES EN LA FORMACIÓN DE LOS SISTEMAS GEOTERMALES

Mediante el estudio de las relaciones de campo, identificación mineralógica-petrografía, estudios de DRX y PIMA en rocas alteradas, queda evidente que en el área de Pululus, ha acontecido diferentes etapas en los eventos termales.

Se distinguen de ese modo tres episodios hipogénicos principales, definido como un proceso exhalativo temprano de alta temperatura en correspondencia con el mismo enfriamiento de los flujos piroclásticos de la Ig Pululus. Acontece un segundo episodio hidrotermal de baja y alta temperatura que afecta solamente a la Ig. Salle y un evento póstumo tardío vinculado al encajante alterado.

Los episodios termales tempranos, se relacionan directamente con el proceso de enfriamiento de los flujos piroclásticos, los que en la fase final de la consolidación se generan fisuras y grietas en las secciones cuspidales por donde se canaliza la mineralización metálica de esta-

ño. De ese modo, el depósito se plasma en diaclasas y fisuras con desarrollo de casiterita acicular y fibrosa radiada tapizando la superficie de las mismas, lo que habla de un enfriamiento rápido producido preferentemente en estadios cortos de tiempo y de breve duración, mas bien que el desarrollo de sistemas hidrotermales de gran extensión, por ello se encuadra a estos depósitos dentro de los yacimientos de estaño del tipo Mejicano (Hosking, 1974) y del modelo de estaño exhalativo (Reed et.al. 1986).

Un segundo episodio hidrotermal produce la alteración en la Ig gris y sus alrededores, afectando también a las partes basales de los depósitos piroclásticos de la Ig Pululus la que se dispone por encima de la Ig. Salle. En este suceso termal, imperan fluidos bajo condiciones ácidas reflejada en la presencia de una intensa silicificación-argilitización con la presencia de pirofilita y alunita.

La presencia de vetas y vetillas conformadas de carbonatos (calcita y siderita) y exiguo cuarzo vinculados con la mineralización afectado al encajante alterado, sugieren condiciones de fluidos de pH intermedios a alcalinos, como reflejo de un sistema cambiante en sus condiciones químicas en el tiempo, vinculado a un evento mineralizante como lo expresa la penetración de sulfuros con los carbonatos.

A fin de evaluar la potencialidad minera integral del sector, dichos depósitos minerales corresponden en su mayoría a sistemas epitermales o exhalativos, afectados por un reducido nivel erosivo.

### 3.5. BIBLIOGRAFIA

- COIRA, B., CAFFE, P. J., KAY, S. M., DIAZ, A. y RAMIREZ, A., 1996. Complejo volcánico Vilama - Sistema caldérico del Cenozoico superior en Puna, Jujuy. XIII Congreso Argentino de Geología, Actas III: 603-620. Buenos Aires.
- HOSKING, K. F. G., 1974. The search for deposits from which tin can be profitably recovered now and in the foreseeable future: Fourth World Tin Conference, Kuala Lumpur; London, International Tin Council, v. 1, p. 21-83.
- REED, B., L., DUFFIELD, W., LUDINGTON, S.D., MAXWELL, C. H. y RICHTER, D. H., 1986. Descriptive model of rhyolite-hosted Sn. En: Min-

- eral Deposit Models. U. S. Geological Survey Bulletin 1963, D. Cox y A. Singer editors. p 168.
- SOMOZA, R., S. SINGER, B. COIRA, J. VILAS, A. DÍAZ y P. CAFFE, 1994. Ignimbritas del Complejo volcánico Vilama (22,6° S.-67° O). Correlaciones paleomagnéticas y petrológicas. Actas 7º Congreso Geológico Chileno, 1: 179-183. Santiago.
- TURNER, J.C.M., 1982. Descripción geológica de la Hoja 3b, Mina Pirquitas, Jujuy. Servicio Geológico Nacional. Secretaría de Industria y Minería. Boletín 187: 1-56.
- WHITE, N.C., 1991. "High Sulfidation Epithermal Gold Deposits: Characteristics and a Model for their Origin". Geological Survey of Japan Report 277: 9-20.





## **CAPÍTULO IV**

### **CONSIDERACIONES FINALES**

#### **4.1. AREA ABRA GRANADA**

La alteración se circunscribe exclusivamente a las Lavas Viejas que afloran en el Abra Granada sector que abarcando aproximadamente 10 km<sup>2</sup>.

Las asociaciones minerales que se determinaron son las siguientes:

cuarzo-alunita-dickita-barita, alunita-dickita-iliita y cuarzo-alunita-dickita-halloisita-barita

La alteración sobreimpuesta en la brecha lávica vieja representada por una zona argílica con alunita dominante asociada con cuarzo, nos estaría indicando que la actividad hidrotermal que genera este tipo de asociaciones se distingue por una profunda circulación de fluidos con alto estado de oxidación ocasionando el implante de un sistema epitermal de tipo de Alta Sulfuración o Sulfato Acido (White 1991) dado por la asociación de alunita-cuarzo-dickita, generados en un ambiente hidrotermal-magmático en etapas póstumas al implante del sistema volcánico Cauani-Solterío.

#### **4.2. AREA PULULUS**

Se investigó al sistema volcánico del Cerro Pululus, portador de mineralización de estaño en forma de casiterita, fibrosa, botroidal y espinosa roja a parda y negra, a la que se asocian hematita y angelillita (Ramdohr et al., 1959).

Se determinó su carácter de escudo ignimbrítico, identificándose un eje de tumescencia elongado de rumbo meridiano en su área central.

Se analizaron los procesos fumarólicos que afectaron a los flujos, determinándose intensidad y distribución de los mismos, así como la correlación con las anomalías metalíferas.

#### **4.3. AREA BONANZA**

En la reconstrucción evolutiva del Abra Bonanza, ha sido reconocida una etapa de activi-

dad volcánica explosiva que controló la emisión de grandes volúmenes ignimbríticos silíceos, con la formación de calderas, así como la génesis y evolución de los sistemas epitermales asociados.

La erupción de los mismos ha estado controlada por un sistema de fracturación anular y de colapso de extensión regional, relacionada con la evolución del CCVC que margina la depresión de Bonanza.

La actividad volcano-tectónica culminó con la efusión de coladas que construyeron el edificio volcánico del C° Tinte, las que en gran medida encubren la real expresión de los sistemas geotermales.

Se llevaron a cabo en los distintos sectores, relevamientos detallados de las manifestaciones minerales así como análisis tectónicos de las estructuras de control y el estudio de áreas hidrotermalizadas. Los mismos fueron acompañados por estudios petrográficos, de difracción de RX,) y determinaciones PIMA, así como por estudios mineralógicos de los que surgen las siguientes conclusiones.

Los sectores de Mina Bonanza y Minas Viejas corresponden a áreas fuertemente hidrotermalizada, argilitizada-silicificada y propilitizadas, en la que se han reconocido brechas hidrotermales. En ellos se han identificado vetas de rumbo E-O y NO-SE en las que se determinaron sulfuros y sulfosales de Ag, sulfoantimoniuros de Pb, Zn, Cu, en ganga de cuarzo, baritina y carbonatos.

Las vetas de Mina Bonanza se alojan en las sedimentitas del subgrupo Balbuena del Cretácico. Corresponde a una área hidrotermalizada y dislocada en la que se han identificado zonas de descarga de paleosistemas geotermales.

En muestras obtenidas sobre veta han arrojado tenores de hasta 1,95% Pb - 5,6% Zn y 180 g/tn Ag.

La prospección geoquímica realizada en las áreas hidrotermalizadas ha permitido detectar sectores con anomalías metalíferas en Pb, Zn, Cu, Ag, As, Sb, Mn y Ba, particularmente aso-



ciados a afloramientos de brechas hidrotermales y en áreas superficiales de descarga de los sistemas hidrotermales.

En Minas Viejas un sector microfracturado, craquelado argilitizado y silicificado, se disponen vetas de psilomelano asociado con blenda oscura y galena. Un muestreo geoquímico realizado sobre las mismas, arrojó valores de hasta 25% Mn; 1,8% Pb; 4,5% Zn; 1,5% Cu y 120 g/tn Ag.

Se identificaron zonas de descarga geotermal representadas por brechas hidrotermales canalizadas por sistemas de fracturas de rumbo NNE-SSW, E-W, NNW-SSE.

La preservación de zonas de descarga superficial en el sistema geotermal, ha permitido postular la posible existencia de otros cuerpos de brecha emplazados a profundidad, como potenciales portadores de mineralización.

Sistemas hidrotermales de alta sulfuración del «tipo sulfato ácido», desarrolla brechas hidrotermales de explosión, las que se emplazan

preferencialmente hacia el norte de la depresión.

Sobre la base de la comprensión de los procesos magmáticos y hidrotermales, ha sido posible proyectar un modelo definido como tipo de “Alta Sulfuración “ desarrollando en una fase temprana del proceso, en el que los fluidos fueron cambiando sus condiciones de acides, en el espacio y en el tiempo.

#### 4.4. BIBLIOGRAFÍA

- RAMDOHR, P., AHLFELD, F. Y BERNDT, F., 1959. Angelellit ein natürliches triklines Eisen Arseniat,  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{As}_2\text{O}_5$ , N. Jb, Min. Mh. 7, 145-151. Stuttgart. al., 1959.
- WHITE, N.C., 1991. High Sulfidation Epithermal Gold Deposits: Characteristics and a Model for their Origin. Geological Survey of Japan Report 277: 9-20.

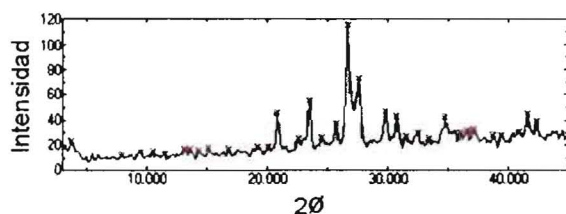
# Anexo I

## DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Natalia Solís y Alba Ramirez

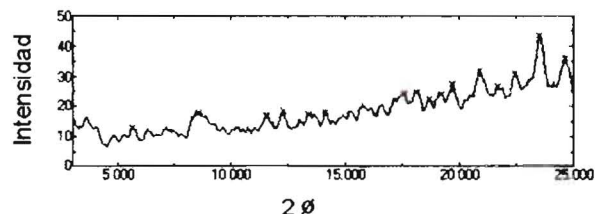
### MUESTRAS AREA ABRA GRANADA

En las siguientes tablas se listan los minerales mayoritarios reconocidos sobre roca total, orientadas y calcinadas, con sus respectivos difractogramas. Todas ellas corresponden al CCVC, sector Granada.



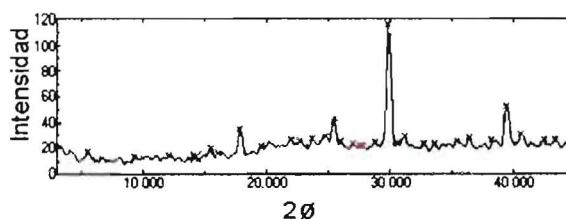
**Muestra 311– Roca Total**

2d (±0.02)	Mineral
4.2467	cuarzo
3.4634	alunita
2.9956	alunita
2.9005	alunita
2.7692	illita
2.5829	illita



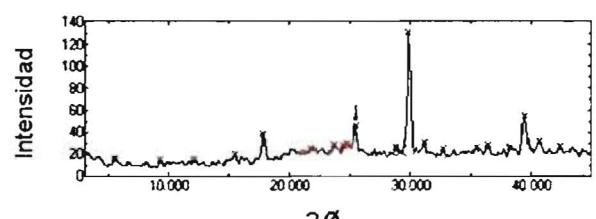
**Muestra 311– Calcinada**

2d (±0.02)	Mineral
15.6284	clorita
10.2730	illita
7.1898	clorita
4.8968	clorita
4.7411	clorita
4.2467	cuarzo
3.9569	illita
3.7824	illita



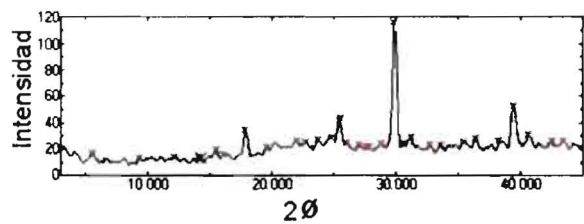
**Muestra 312– Roca Total**

2d (±0.02)	Mineral
7.0082	caolinita
4.2467	cuarzo
4.0368	cristobalita
3.5337	caolinita
3.3103	cuarzo
2.9606	natroalunita
2.8580	cristobalita
2.4642	natroalunita
2.3235	caolinita
2.2733	cuarzo
2.1969	cristobalita
2.1138	cuarzo
2.0090	caolinita
1.9148	cristobalita
1.8941	cristobalita



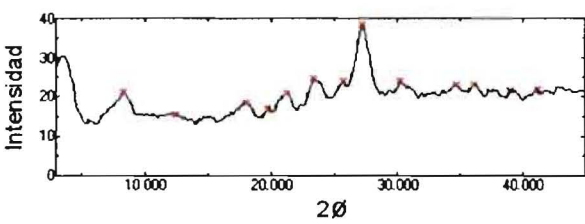
**Muestra 314– Roca Total**

2d (±0.02)	Mineral
5.7119	alunita
4.9511	alunita
3.4901	alunita
2.9858	alunita
2.8732	alunita
2.6727	alunita
2.4661	alunita
2.2850	alunita
2.2149	alunita



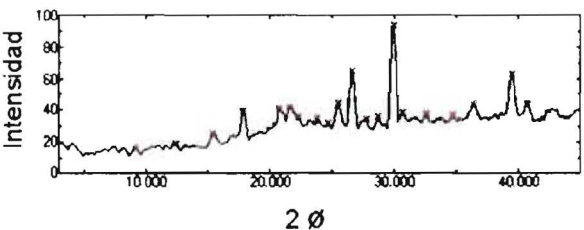
Muestra 314b- Roca Total

2d (±0.02)	Mineral
9.4004	illita
5.7119	alunita
4.9511	alunita
4.4139	barita
3.4901	alunita
3.0973	barita
2.9858	alunita
2.2850	alunita
2.2149	alunita
2.1252	barita



Muestra 314- Muestra Orientada

2d (±0.02)	Mineral
10.6436	illita
2.9568	alunita
2.4793	alunita
2.2962	alunita

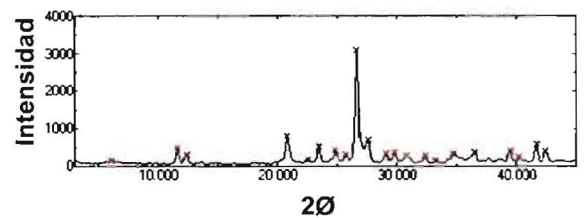


Muestra 315- Roca Total

2d (±0.02)	Mineral
4.9511	alunita
4.3079	tridimita
4.0919	tridimita
3.3359	tridimita
2.9858	tridimita

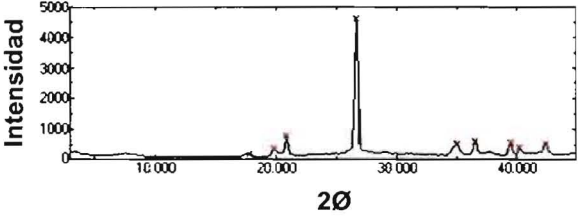
MUESTRAS AREA BONANZA

En las siguientes tablas se listan los minerales mayoritarios reconocidos sobre roca total, orientadas y calcinadas, con sus respectivos difractogramas. Todas ellas corresponden al CCVC, sector Bonanza.



Muestra 320- Roca Total

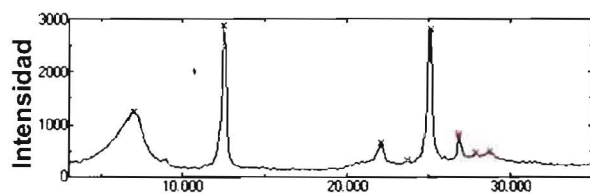
2d (±0.02)	Mineral
7.1320	caolinita
4.2669	cuarzo
3.5728	caolinita
3.3482	cuarzo
2.2360	caolinita
2.1641	caolinita
2.1300	caolinita



Muestra 322- Roca Total

2d (±0.02)	Mineral
4.4801	illita
4.2467	cuarzo
3.3482	tridimita
2.5615	illita
2.4596	illita
2.2794	tridimita
2.2360	illita
2.1300	tridimita

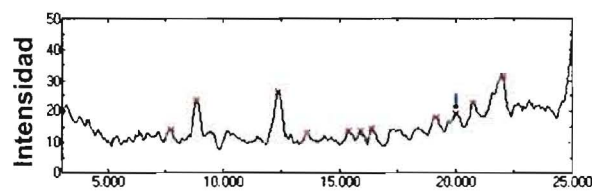




2θ

Muestra 323- Roca Total

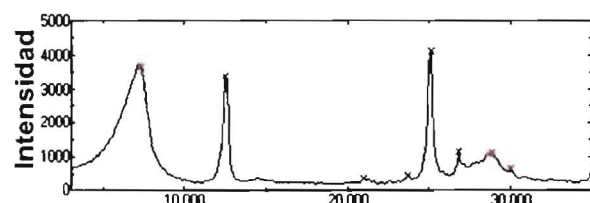
2d (±0.02)	Mineral
12.6171	sericita
7.0752	dickita
4.0187	dickita
3.7509	illita
3.3237	illita
3.1951	dickita
3.1078	dickita



2θ

Muestra 323- Calcinada

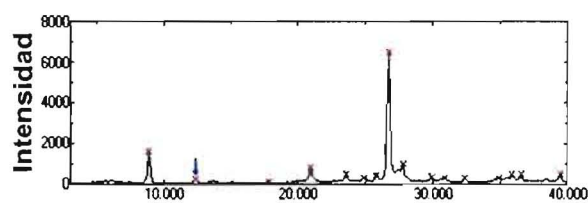
2d (±0.02)	Mineral
9.9833	sericita
7.1608	dickita
5.7488	alunita
4.4357	dickita
4.2771	dickita



2θ

Muestra 326- Roca Total

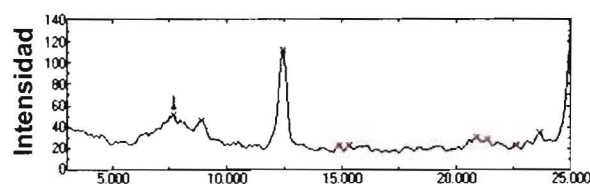
2d (±0.02)	Mineral
12.0992	smectita-illita
7.0752	caolinita
4.2267	cuarzo
3.7509	smectita
3.5448	caolinita
3.3237	cuarzo
3.0868	illita
2.9760	alunita



2θ

Muestra 326B- Roca Total

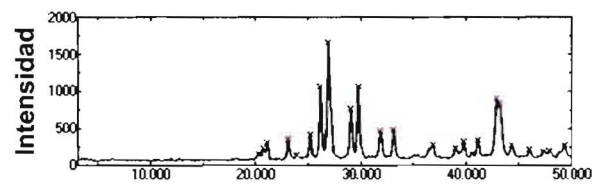
2d (±0.02)	Mineral
9.9274	illita
7.1320	caolinita
4.2467	cuarzo
3.4502	alunita
3.3359	cuarzo
2.9858	illita
2.8914	illita
2.5686	caolinita
2.4993	caolinita
2.2794	cuarzo



2θ

Muestra 326- Calcinada

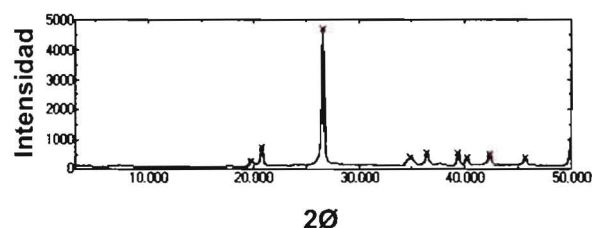
2d (±0.02)	Mineral
11.4716	smectita
9.9274	illita
7.1035	caolinita
4.2467	cuarzo
3.9310	illita
3.7588	smectita
3.5588	caolinita



2θ

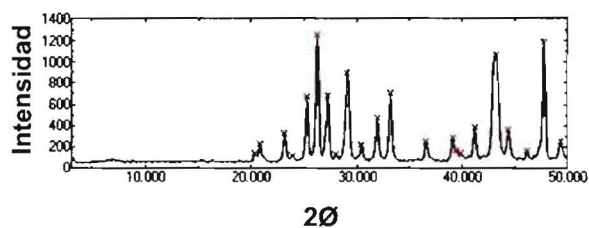
Muestra 327b- Roca Total

2d (±0.02)	Mineral
4.2730	cuarzo
3.8503	cuarzo
3.3103	cuarzo
3.0712	jarosita
2.8081	jarosita
2.2651	jarosita
2.1054	cuarzo
1.9693	jarosita
1.8447	jarosita



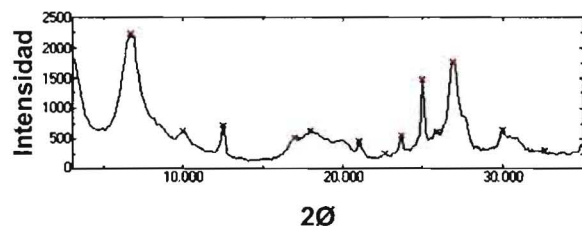
Muestra 327 – Roca Total

2d (±0.02)	Mineral
4.4868	natroalunita
4.2771	cuarzo
3.3556	cuarzo
2.5700	natroalunita
2.4635	natroalunita
2.2435	natroalunita
2.1333	cuarzo
1.9856	cuarzo



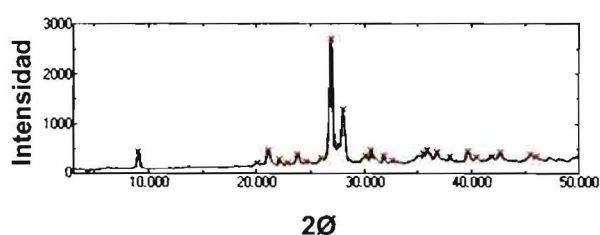
Muestra 333 – Roca Total

2d (±0.02)	Mineral
4.3666	illita
4.2669	cuarzo
3.8437	pirofilita
3.7200	pirofilita
3.5296	pirofilita
3.3971	sericita
3.0691	pirofilita
2.8030	jarocita
2.6993	sericita
2.3035	pirofilita
2.2816	jarocita
2.0896	sericita
1.9661	jarocita
1.8437	jarocita



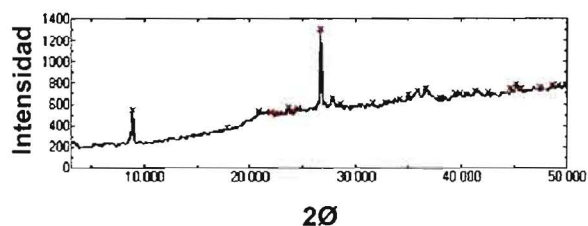
Muestra 338 – Roca Total

2d (±0.02)	Mineral
13.1813	clorita
7.0752	clorita
4.9238	illita
4.2267	cuarzo
3.7509	illita
3.5588	clorita
3.3115	illita
3.2177	illita
2.9760	illita

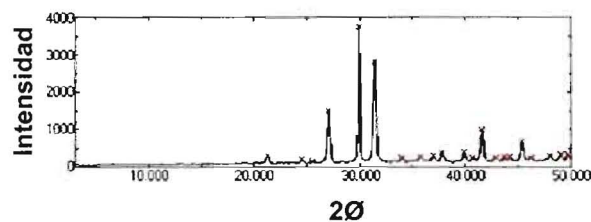


Muestra 341 - Roca Total

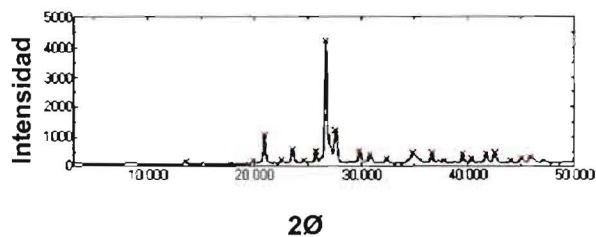
2d (±0.02)	Mineral
9.7739	illita
4.4313	pirofilita
4.2148	cuarzo
3.8936	illita
3.7400	pirofilita
3.4293	baritina
3.3164	illita
3.1850	illita
2.9645	pirofilita
2.7427	pirofilita
2.5259	pirofilita
2.5034	illita
2.4441	cuarzo
2.3653	illita
2.2711	cuarzo
2.2265	cuarzo
2.1572	pirofilita
2.1181	cuarzo
1.9910	cuarzo
1.9709	cuarzo

**Muestra 441– Roca Total**

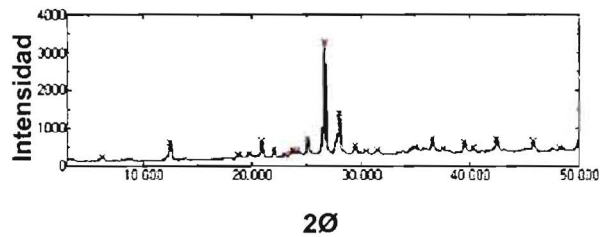
2d (±0.02)	Mineral
10.0059	illita
4.9566	illita
4.2608	cuarzo
3.3384	illita
3.2041	illita
2.6225	illita
2.5665	illita
2.5047	illita
2.4518	cuarzo
2.3695	illita
2.2816	cuarzo
2.1801	illita
2.0048	illita

**Muestra 462– Roca Total**

2d (±0.02)	Mineral
4.1775	alunita
3.6302	natroalunita
3.4820	alunita
2.9867	natroalunita
2.8482	natroalunita
2.3785	alunita
2.2580	natroalunita
2.2144	natroalunita
2.1091	alunita
2.0718	alunita
2.0465	alunita
1.9976	alunita
1.8919	natroalunita
1.8560	alunita

**Muestra 480– Roca Total**

2d (±0.02)	Mineral
4.2427	cuarzo
3.4568	baritina
3.3371	cuarzo
2.4544	cuarzo
2.2794	cuarzo
2.2349	baritina
2.1247	cuarzo
2.0540	baritina

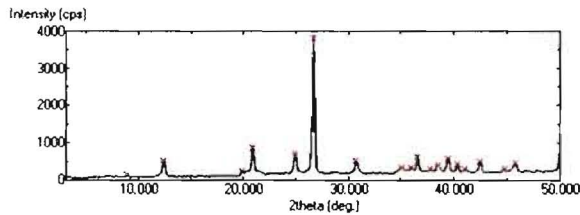
**Muestra 484– Roca Total**

2d (±0.02)	Mineral
14.1747	clorita
7.0922	caolinita
4.7260	clorita
4.4846	caolinita
4.2548	cuarzo
4.0332	cristobalita
3.7494	caolinita
3.5393	clorita
2.8359	cristobalita
2.4550	cristobalita
2.3926	caolinita
2.2805	cuarzo
2.2360	caolinita
2.1281	cuarzo
1.9791	cuarzo
1.8819	cristobalita



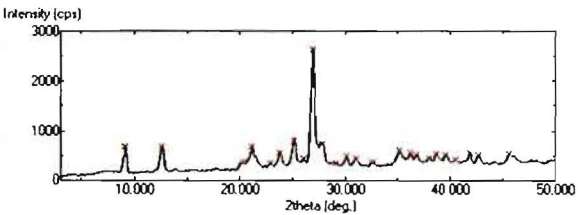
MUESTRAS DE IGNIMBRITAS ALTERADAS DEL AREA PULULUS

Se realizó únicamente roca total.



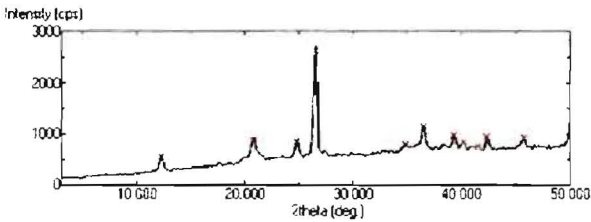
Muestra 379

2 d theta	Mineral
8.890	moscovita
12.380	caolinita
20.850	cuarzo
24.900	caolinita
26.650	illita
30.740	illita
35.030	illita
35.950	illita
36.560	cuarzo
37.780	illita
38.480	caolinita
39.440	cuarzo
40.300	illita
41.030	illita
42.460	illita
44.760	illita
45.840	caolinita



Muestra 380

2 d theta	Mineral
9.150	pirofilita
12.620	caolinita
21.110	pirofilita
22.840	moscovita
23.790	pirofilita
25.110	caolinita
26.930	illita
27.780	moscovita
29.180	pirofilita
30.110	alunita
31.030	alunita
32.590	pirofilita
35.130	pirofilita
36.170	alunita
36.790	pirofilita
37.960	caolinita
38.690	pirofilita
39.590	alunita
40.500	alunita
41.850	pirofilita
42.680	pirofilita
45.610	caolinita



Muestra 385

2 d theta	Mineral
12.280	caolinita
20.750	cuarzo
24.790	caolinita
26.520	cuarzo
34.880	caolinita
36.510	cuarzo
39.350	cuarzo
40.190	caolinita
41.540	caolinita
42.370	cuarzo
45.750	caolinita

## **Anexo II**

### **DETERMINACIONES POR PIMA**

*Dra. Marta Godeas y Lic. Vanesa Litvak*

- 311:** illita con amonio 90%, jarosita 10%
- 312:** alunita potásica 60%, caolinita 40%
- 313:** dos espectros:
  - 313: illita-smectita
  - 313 a: caolinita 60%, alunita 20%, illita-smectita 20%
- 314:** caolinita 60%, alunita 20%, illita-smectita 20%
- 321:** dickita 60%, illita 40%
- 322:** illita-smectita
- 326:** illita-smectita 60%, caolinita 40%
- 332:** cuarzo
- 341:** montmorillonita
- 367:** cuarzo 90%, ópalo 10%
- 368:** alunita 20%, 30%, caolinita 50%
- 369:** alunita 10%, illita 30%, caolinita 60%
- 379:** illita 20%, caolinita 80%
- 380:** illita 20%, caolinita 80%
- 382:** calcita 60%, siderita 40%

